

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS TALUDES INESTABLES EN LA
CARRETERA SAN MIGUEL - EL EMPALME, Km 1+550 – km 7+150
PROVINCIA DE SAN MIGUEL**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO GEÓLOGO**

AUTOR

Bach. ROMERO QUIROZ ELMER DANIEL

ASESOR

M. Cs. Ing. GONZALES YANA ROBERTO SEVERINO

CAJAMARCA – PERÚ

2026

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. **Investigador:** ELMER DANIEL ROMERO QUIROZ

DNI: 72212750

Escuela Profesional: ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

2. **Asesor:** M. Cs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino

Facultad: Ingeniería

3. **Grado académico o título profesional**

☐ Bachiller

☒ Título profesional

☐ Segunda especialidad

☐ Maestro

☐ Doctor

4. **Tipo de Investigación:**

☒ Tesis

☐ Trabajo de investigación

☐ Trabajo de suficiencia profesional

☐ Trabajo académico

5. **Título de Trabajo de Investigación:**

EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS TALUDES INESTABLES EN LA CARRETERA SAN MIGUEL - EL EMPALME, KM 1+550 – KM 7+150 PROVINCIA DE SAN MIGUEL

Fecha de evaluación: 19/01/2026

6. **Software antiplagio:**

☒ TURNITIN

☐ URKUND (OURIGINAL) (*)

7. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 6%

8. **Código Documento:** Oide:3117: 547421484

9. **Resultado de la Evaluación de Similitud:**

☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 19/01/2026



FIRMA DEL ASESOR
Roberto Severino Gonzales Yana
DNI: 29441681



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258801 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 19/01/2026 16:44:24-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

ACTA N° 0008-2026

TITULO : *EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS TALUDES INESTABLES EN LA CARRETERA SAN MIGUEL - EL EMPALME, KM 1+550 - KM 7+150 PROVINCIA DE SAN MIGUEL.*

ASESOR : *M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.*

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Art. 35 del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, da a conocer que, a los **trece días del mes de febrero de 2026**, siendo las nueve horas (09:00 a.m.) en Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J - 210), se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
Vocal : Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Secretario : M.Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada *EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS TALUDES INESTABLES EN LA CARRETERA SAN MIGUEL - EL EMPALME, KM 1+550 - KM 7+150 PROVINCIA DE SAN MIGUEL*, presentado por el Bachiller en Ingeniería Geológica *ELMER DANIEL ROMERO QUIROZ*, asesorado por el M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante, debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : *04* PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : *11* PTS.
EVALUACIÓN FINAL : *15* PTS *Quiroz* (En letras)

En consecuencia, se lo declara *APROBADO* con el calificativo de *Quiroz* acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las *10.00* horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

[Signature]
Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
Presidente

[Signature]
Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
Vocal

[Signature]
M.Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca.
Secretario

[Signature]
M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Asesor

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios, por iluminar mi camino, fortalecer mis aspiraciones y brindarme la sabiduría y perseverancia necesarias para avanzar en mi formación como profesional. Mi reconocimiento especial a la Universidad Nacional de Cajamarca y, en particular, a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, por haberme brindado una excelente formación académica. Expreso también mi sincera gratitud a todos mis docentes por compartir sus conocimientos y experiencias. De manera especial, al M.Cs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino, por su valiosa orientación, compromiso y constante apoyo durante el desarrollo de esta investigación.

E.D.R.Q

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a mis padres, Elmer y Nery por su amor incondicional, su constante apoyo y por ser el pilar fundamental en cada paso de mi formación académica. Su ejemplo de esfuerzo y perseverancia ha sido mi mayor inspiración.

E.D.R.Q

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
CONTENIDO.....	iv
LISTA DE ABREVIATURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	xviii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT	xx

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	4
2.1.1	Antecedentes Internacionales.....	4
2.1.2	Antecedentes Nacionales	4
2.1.3	Antecedentes Locales.....	5
2.2	BASES TEÓRICAS.....	5
2.2.1	Definición del Concepto Talud.....	5
2.2.2	Tipología de Inestabilidad en Taludes	7

	Pág.
2.2.3 Factores que afectan la Estabilidad de Taludes	9
2.2.4 Clasificación de los Suelos	10
2.2.5 Sismicidad	13
2.2.6 Análisis Pseudoestático de Taludes	14
2.2.7 Métodos de Análisis de Estabilidad de Taludes.....	16
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	19

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	21
3.1.1 Política.....	21
3.1.2 Geográfica.....	21
3.1.3 Accesibilidad	21
3.2 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	23
3.2.1 Tipo, Diseño y Método de la Investigación	23
3.2.2 Población de Estudio	23
3.2.3 Muestra	23
3.2.4 Unidad de Análisis	23
3.2.5 Definición de Variables	23
3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	24
3.3.1 Técnicas.....	24
3.3.2 Instrumentos y Equipos.....	24
3.4 GEOLOGÍA LOCAL	26
3.4.1 Depósitos Coluviales	26

	Pág.
3.4.2 Depósitos Eluviales (Residuales)	28
3.4.3 Afloramientos de Intrusivos (Nm-di)	28
3.4.4 Volcánico Chicche–Hueco Grande – Evento (Nm-chg/4).....	28
3.4.5 Grupo Calipuy–Evento (Po-am/2)	28
3.4.6 Formación Celendín	29
3.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	29
3.5.1 Falla Geológica	30
3.6 HIDROLOGÍA	31
3.6.1 Precipitación	31
3.6.2 Ecurrimiento e Infiltración.....	33
3.7 SISMICIDAD	35
3.8 UNIDADES MORFOGENÉTICAS	36
3.8.1 Planicies	36
3.8.2 Lomadas.....	37
3.8.3 Laderas	38
3.8.4 Escarpas	38
3.9 GEOTECNIA	39
3.9.1 Mecánica de Suelos.....	39
3.9.2 Estaciones Geotécnicas	42

CAPÍTULO IV

DISCURSIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS	128
4.1.1 Evaluación del Tipo de Suelo en la Inestabilidad de Taludes	128

	Pág.
4.1.2 Evaluación de la Precipitación e Infiltración en los Taludes	129
4.1.3 Evaluación de la Sismicidad en la Inestabilidad de Taludes	130
4.1.4 Evaluación de la Inestabilidad de los Taludes mediante el FS	131
4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	133
4.3 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	134

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES	135
5.2 RECOMENDACIONES.....	136

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

LISTA DE ABREVIATURAS

CH:	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.
CL:	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media.
GC:	Gravas arcillosas.
GM:	Gravas limosas.
GP:	Gravas mal graduadas.
GW:	Gravas bien graduadas.
SC:	Arenas arcillosas.
SM:	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
SP:	Arenas mal graduadas.
MH:	Limos inorgánicos.
ML:	Limos inorgánicos y arenas muy finas.
OH:	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada.
OL:	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.
PT:	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.
EG:	Estación Geotécnica.
FS:	Factor de Seguridad.
GPS:	Sistema de Posicionamiento Global.
Kh:	Coeficiente Sísmico Horizontal.
Kv:	Coeficiente Sísmico Vertical. Kilopascal.
KPa:	Kilopascal.
SUCS:	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
UTM:	Universal Transversal de Mercator.
WGS-84:	World Geodesic System del año 1984.

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Clasificación según (SUCS)	11
Tabla 2: Factor de Susceptibilidad Sísmica por Zonas	14
Tabla 3: Coeficientes sísmicos horizontales usualmente recomendados para diseño. .	15
Tabla 4: Métodos de Análisis de Estabilidad de Taludes.....	18
Tabla 5: Vértices del Área de Investigación.....	21
Tabla 6: Datos de Accesibilidad	22
Tabla 7: Variables Independientes y Dependientes	23
Tabla 8: Descripción Macroscópica de la Roca Toba.....	27
Tabla 9: Descripción Macroscópica de la Roca Granodiorita	27
Tabla 10: Precipitación por Años (2017-2024)	32
Tabla 11: Balance Hidrológico	34
Tabla 12: Coeficientes sísmicos horizontales usualmente recomendados	35
Tabla 13: Clasificación de las unidades morfogénicas	36
Tabla 14: Relación de calicatas	40
Tabla 15: Granulometría y clasificación SUCS de las Calicatas.....	41
Tabla 16: Datos de Peso Específico, Cohesión y Ángulo de Fricción.....	42
Tabla 17: Geometría y parámetros de entrada del Talud 01	43
Tabla 18: Geometría y parámetros de entrada del Talud 02	50
Tabla 19: Geometría y parámetros de entrada del Talud 03	57
Tabla 20: Geometría y parámetros de entrada del Talud 04	64
Tabla 21: Geometría y parámetros de entrada del Talud 05	71
Tabla 22: Geometría y parámetros de entrada del Talud 06	79

	Pág.
Tabla 23: Geometría y parámetros de entrada del Talud 07	86
Tabla 24: Geometría y parámetros de entrada del Talud 08	93
Tabla 25: Geometría y parámetros de entrada del Talud 09	100
Tabla 26: Geometría y parámetros de entrada del Talud 10	107
Tabla 27: Geometría y parámetros de entrada del Talud 11	114
Tabla 28: Geometría y parámetros de entrada del Talud 12	121
Tabla 29: Factores de seguridad según diferentes normativas	128
Tabla 30: Factor de Seguridad en Condiciones Saturadas	130
Tabla 31: Factor de Seguridad en Condiciones Pseudoestáticas	131
Tabla 32: Factor de Seguridad en condiciones Estáticas	132
Tabla 33: Factor de Seguridad en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas	132
Tabla 34: Parámetros de Suelos.....	142

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Partes de un Talud.....	7
Figura 2: Clasificación movimientos terreno	8
Figura 3: Intervenciones que afectan la Estabilidad de un Talud.....	10
Figura 4: Susceptibilidad Sísmica del Territorio Peruano	13
Figura 5: División en rebanadas verticales.	17
Figura 6: FS en Condiciones Estáticas – Método de Bishop/Talud-01	44
Figura 7: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Bishop/Talud 01	44
Figura 8: FS en Condiciones Saturadas – Método de Bishop/Talud 01	45
Figura 9: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Bishop	45
Figura 10: FS en Condiciones Estáticas – Método de Spencer/Talud 01	46
Figura 11: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Spencer /Talud 01.....	46
Figura 12: FS en Condiciones Saturadas – Método de Spencer /Talud 01.....	47
Figura 13: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Spencer	47
Figura 14: FS en Condiciones Estáticas – Método de Morgenstern-Price /Talud 01.....	48
Figura 15: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Morgenstern-Price	48
Figura 16: FS en Condiciones Saturadas – Método de Morgenstern-Price /Talud 01 ...	49
Figura 17: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas	49
Figura 18: FS en Condiciones Estáticas – Método de Bishop/Talud 02.....	51
Figura 19: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Bishop/Talud 02	51
Figura 20: FS en Condiciones Saturadas – Método de Bishop/Talud 02	52
Figura 21: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Bishop.....	52
Figura 22: FS en Condiciones Estáticas – Método de Spencer/Talud 02	53
Figura 23: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Spencer/Talud 02	53

	Pág.
Figura 24: FS en Condiciones Saturadas – Método de Spencer /Talud 02.....	54
Figura 25: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Spencer.....	54
Figura 26: FS en Condiciones Estáticas – Método de Morgenstern-Price /Talud 02.....	55
Figura 27: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Morgenstern-Price	55
Figura 28: FS en Condiciones Saturadas – Método de Morgenstern-Price /Talud 02 ...	56
Figura 29: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas	56
Figura 30: FS en Condiciones Estáticas – Método de Bishop/Talud 03.....	58
Figura 31: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Bishop/Talud 03	58
Figura 32: FS en Condiciones Saturadas – Método de Bishop/Talud 03	59
Figura 33: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Bishop	59
Figura 34: FS en Condiciones Estáticas – Método de Spencer/Talud 03	60
Figura 35: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Spencer/Talud 03.....	60
Figura 36: FS en Condiciones Saturadas – Método de Spencer /Talud 03.....	61
Figura 37: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Spencer	61
Figura 38: FS en Condiciones Estáticas – Método de Morgenstern-Price /Talud 03.....	62
Figura 39: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Morgenstern-Price	62
Figura 40: FS en Condiciones Saturadas – Método de Morgenstern-Price /Talud 03 ...	63
Figura 41: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas	63
Figura 42: FS en Condiciones Estáticas – Método de Bishop/Talud-04	65
Figura 43: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Bishop/Talud 04	65
Figura 44: FS en Condiciones Saturadas – Método de Bishop/Talud 04	66
Figura 45: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Bishop	66
Figura 46: FS en Condiciones Estáticas – Método de Spencer/Talud 04	67
Figura 47: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Spencer/Talud 04	67

	Pág.
Figura 48: FS en Condiciones Saturadas – Método de Spencer /Talud 04.....	68
Figura 49: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Spencer	68
Figura 50: FS en Condiciones Estáticas – Método de Morgenstern-Price /Talud 04.....	69
Figura 51: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Morgenstern-Price	69
Figura 52: FS en Condiciones Saturadas – Método de Morgenstern-Price /Talud 04 ...	70
Figura 53: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas	70
Figura 54: FS en Condiciones Estáticas – Método de Bishop/Talud 05.....	72
Figura 55: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Bishop/Talud 05	73
Figura 56: FS en Condiciones Saturadas – Método de Bishop/Talud 05	73
Figura 57: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Bishop	74
Figura 58: FS en Condiciones Estáticas – Método de Spencer/Talud 05	75
Figura 59: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Spencer/Talud 05.....	75
Figura 60: FS en Condiciones Saturadas – Método de Spencer /Talud 05.....	76
Figura 61: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Spencer	76
Figura 62: FS en Condiciones Estáticas – Método de Morgenstern-Price /Talud 05.....	77
Figura 63: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Morgenstern-Price	77
Figura 64: FS en Condiciones Saturadas – Método de Morgenstern-Price /Talud 05 ...	78
Figura 65: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas	78
Figura 66: FS en Condiciones Estáticas – Método de Bishop/Talud 06.....	80
Figura 67: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Bishop/Talud 06	80
Figura 68: FS en Condiciones Saturadas – Método de Bishop/Talud 06	81
Figura 69: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Bishop	81
Figura 70: FS en Condiciones Estáticas – Método de Spencer/Talud 06	82
Figura 71: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Spencer/Talud 06	82

	Pág.
Figura 72: FS en Condiciones Saturadas – Método de Spencer /Talud 06.....	83
Figura 73: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Spencer	83
Figura 74: FS en Condiciones Estáticas – Método de Morgenstern-Price /Talud 06.....	84
Figura 75: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Morgenstern-Price	84
Figura 76: FS en Condiciones Saturadas – Método de Morgenstern-Price /Talud 06 ...	85
Figura 77: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas	85
Figura 78: FS en Condiciones Estáticas – Método de Bishop/Talud 07.....	87
Figura 79: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Bishop/Talud 07	87
Figura 80: FS en Condiciones Saturadas – Método de Bishop/Talud 07	88
Figura 81: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Bishop	88
Figura 82: FS en Condiciones Estáticas – Método de Spencer/Talud 07	89
Figura 83: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Spencer/Talud 07	89
Figura 84: FS en Condiciones Saturadas – Método de Spencer /Talud 07	90
Figura 85: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Spencer	90
Figura 86: FS en Condiciones Estáticas – Método de Morgenstern-Price /Talud 07.....	91
Figura 87: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Morgenstern-Price	91
Figura 88: FS en Condiciones Saturadas – Método de Morgenstern-Price /Talud 07 ...	92
Figura 89: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas	92
Figura 90: FS en Condiciones Estáticas – Método de Bishop/Talud 08.....	94
Figura 91: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Bishop/Talud 08	94
Figura 92: FS en Condiciones Saturadas – Método de Bishop/Talud 08	95
Figura 93: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Bishop	95
Figura 94: FS en Condiciones Estáticas – Método de Spencer/Talud 08	96
Figura 95: FS en Condiciones Pseudoestáticas –Método de Spencer/Talud 08	96

	Pág.
Figura 96: FS en Condiciones Saturadas – Método de Spencer /Talud 08.....	97
Figura 97: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Spencer	97
Figura 98: FS en Condiciones Estáticas – Método de Morgenstern-Price /Talud 08.....	98
Figura 99: FS en Condiciones Pseudoestáticas	98
Figura 100: FS en Condiciones Saturadas – Método de Morgenstern-Price /Talud 08 ...	99
Figura 101: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas	99
Figura 102: FS en Condiciones Estáticas – Método de Bishop/Talud 09.....	101
Figura 103: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Bishop/Talud 09	101
Figura 104: FS en Condiciones Saturadas – Método de Bishop/Talud 09	102
Figura 105: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Bishop	102
Figura 106: FS en Condiciones Estáticas – Método de Spencer/Talud 09	103
Figura 107: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Spencer/Talud 09.....	103
Figura 108: FS en Condiciones Saturadas – Método de Spencer /Talud 09.....	104
Figura 109: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Spencer	104
Figura 110: FS en Condiciones Estáticas – Método de Morgenstern-Price /Talud 09...	105
Figura 111: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Morgenstern-Price	105
Figura 112: FS en Condiciones Saturadas – Método de Morgenstern-Price /Talud 09 .	106
Figura 113: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas	106
Figura 114: FS en Condiciones Estáticas – Método de Bishop/Talud 10.....	108
Figura 115: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Bishop/Talud 10	108
Figura 116: FS en Condiciones Saturadas – Método de Bishop/Talud 10	109
Figura 117: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Bishop	109
Figura 118: FS en Condiciones Estáticas – Método de Spencer/Talud 10	110
Figura 119: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Spencer/Talud 10.....	110

	Pág.
Figura 120: FS en Condiciones Saturadas – Método de Spencer /Talud 10.....	111
Figura 121: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Spencer	111
Figura 122: FS en Condiciones Estáticas – Método de Morgenstern-Price /Talud 10...	112
Figura 123: FS en Condiciones Pseudoestáticas	112
Figura 124: FS en Condiciones Saturadas – Método de Morgenstern-Price /Talud 10 .	113
Figura 125: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas	113
Figura 126: FS en Condiciones Estáticas – Método de Bishop/Talud 11.....	115
Figura 127: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Bishop/Talud 11	115
Figura 128: FS en Condiciones Saturadas – Método de Bishop/Talud 11	116
Figura 129: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Bishop.....	116
Figura 130: FS en Condiciones Estáticas – Método de Spencer/Talud 11	117
Figura 131: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Spencer/Talud 11.....	117
Figura 132: FS en Condiciones Saturadas – Método de Spencer /Talud 11.....	118
Figura 133: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Spencer	118
Figura 134: FS en Condiciones Estáticas – Método de Morgenstern-Price /Talud 11...	119
Figura 135: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Morgenstern-Price.....	119
Figura 136: FS en Condiciones Saturadas – Método de Morgenstern-Price /Talud 11 .	120
Figura 137: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas	120
Figura 138: FS en Condiciones Estáticas – Método de Bishop/Talud 12.....	122
Figura 139: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Bishop/Talud 12	122
Figura 140: FS en Condiciones Saturadas – Método de Bishop/Talud 12	123
Figura 141: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Bishop.....	123
Figura 142: FS en Condiciones Estáticas – Método de Spencer/Talud 12	124
Figura 143: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Spencer/Talud 12.....	124

	Pág.
Figura 144: FS en Condiciones Saturadas – Método de Spencer /Talud 12.....	125
Figura 145: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Spencer	125
Figura 146: FS en Condiciones Estáticas – Método de Morgenstern-Price /Talud 12...	126
Figura 147: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Morgenstern-Price	126
Figura 148: FS en Condiciones Saturadas – Método de Morgenstern-Price /Talud 12 .	127
Figura 149: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas	127

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1: Depósitos Coluviales.....	26
Fotografía 2: Depósitos Eluviales (Residuales)	28
Fotografía 3: Presencia de la Formación Celendín.....	29
Fotografía 4: Afloramiento de la Fm-Celendín.....	30
Fotografía 5: Vista de una planicie en el Km 03+760	37
Fotografía 6: Vista de una lomada en el Km 04+800	37
Fotografía 7: Vista de una ladera en el Km 05+400	38
Fotografía 8: Vista de una escarpa en el Km 06+200.....	38
Fotografía 9: Talud 01 en la progresiva 01+600	43
Fotografía 10: Talud 02 en la progresiva 01+800	50
Fotografía 11: Talud 03 en la progresiva 02+500	57
Fotografía 12: Talud 04 en la progresiva 03+000	64
Fotografía 13: Talud 05 en la progresiva 03+500	71
Fotografía 14: Talud 06 en la progresiva 04+000	79
Fotografía 15: Talud 07 en la progresiva 04+500	86
Fotografía 16: Talud 08 en la progresiva 05+000	93
Fotografía 17: Talud 09 en la progresiva 05+500	100
Fotografía 18: Talud 10 en la progresiva 06+000	107
Fotografía 19: Talud 11 en la progresiva 06+500	114
Fotografía 20: Talud 12 en la progresiva 07+000	121
Fotografía 21: Deslizamiento en la cara del talud en el Km 05+850	129

RESUMEN

La investigación se desarrolló en la carretera San Miguel – El Empalme, específicamente en el tramo comprendido entre el Km 1+550 y el Km 7+150, en la provincia de San Miguel, Cajamarca, zona que presenta alta susceptibilidad a deslizamientos. El objetivo general fue evaluar geotécnicamente los taludes inestables en dicho tramo. La metodología consistió en la recolección de datos geológicos y geotécnicos de 12 taludes, mediante calicatas, ensayos de laboratorio y análisis en el software Slide V6.0 utilizando el método de Morgenstern y Price. Se elaboraron modelos en AutoCAD y se evaluó el factor de seguridad (FS) bajo condiciones estáticas, pseudoestáticas, saturadas y combinadas, siguiendo normas internacionales como AASHTO, FHWA y CE.020. Los resultados muestran que el 50% de los taludes son inestables en condiciones estáticas, pero al ser sometidos a saturación y sismicidad la inestabilidad se presenta en el 99% de los taludes evaluados. Esta situación se atribuye principalmente a la presencia de suelos coluviales y eluviales de tipo ML, SM, CL y SC, caracterizados por su baja cohesión y alta permeabilidad, lo que facilita la saturación durante las lluvias. Además, la infiltración rápida del agua aumenta la presión de poros y disminuye la resistencia al corte, mientras que la sismicidad frecuente actúa como factor desencadenante. Se concluye que los taludes en el tramo evaluado son altamente inestables, siendo necesario implementar medidas de estabilización para garantizar la seguridad vial.

Palabras Clave: Geotecnia, Inestabilidad de Taludes, Factor de Seguridad

ABSTRACT

The research was carried out on the San Miguel – El Empalme highway, specifically on the section between Km 1+550 and Km 7+150, in the province of San Miguel, Cajamarca, an area that is highly susceptible to landslides. The overall objective was to evaluate the unstable slopes in this section from a geotechnical perspective. The methodology consisted of collecting geological and geotechnical data from 12 slopes, using test pits, laboratory tests, and analysis in Slide V6.0 software using the Morgenstern and Price method. Models were developed in AutoCAD and the safety factor (SF) was evaluated under static, pseudo-static, saturated, and combined conditions, following international standards such as AASHTO, FHWA, and CE.020. The results show that 50% of the slopes are unstable under static conditions, but when subjected to saturation and seismicity, instability occurs in 99% of the slopes evaluated. This situation is mainly attributed to the presence of colluvial and eluvial soils of types ML, SM, CL, and SC, characterized by low cohesion and high permeability, which facilitates saturation during rainfall. In addition, rapid water infiltration increases pore pressure and decreases shear strength, while frequent seismicity acts as a triggering factor. It is concluded that the slopes in the evaluated section are highly. It is concluded that the slopes in the section evaluated are highly unstable, and stabilization measures must be implemented to ensure road safety.

Key words: Geotechnics, Slope Instability, Factor of Safety.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En la carretera San Miguel - El Empalme, precisamente en el tramo comprendido entre el Km 1+550 y el Km 7+150, presenta una alta susceptibilidad a deslizamientos y derrumbes debido a la inestabilidad de los taludes que lo bordean. Esta situación representa un riesgo constante para la seguridad de los usuarios, interrumpe la conectividad vial y genera elevados costos de mantenimiento. Entre las principales causas de esta problemática se identifican factores como las precipitaciones intensas, infiltración y eventos sísmicos, sumando también los suelos arcillosos, agravan la inestabilidad en los taludes. Debido a la importancia económica y social de esta vía para la provincia de San Miguel, es necesario realizar una evaluación geotécnica. En consecuencia, se plantea la siguiente pregunta: ¿Cuál es la evaluación geotécnica de los taludes inestables en la carretera San Miguel – El Empalme, tramo Km 1+550 – km 7+150? Por tanto, se plantea como hipótesis que la inestabilidad de los taludes en el tramo Km 1+550 – Km 7+150 de la carretera San Miguel - El Empalme se encuentra influenciada por el tipo de suelo, las elevadas precipitaciones, la infiltración de agua en el terreno y la actividad sísmica, lo cual se evidencia en la reducción del factor de seguridad por debajo de los niveles críticos de estabilidad.

La carretera San Miguel - El Empalme es una vía de vital importancia para la provincia de San Miguel y el departamento de Cajamarca, ya que facilita el transporte de personas y mercancías, contribuyendo al desarrollo económico y social de la región. Sin embargo, la presencia de taludes inestables a lo largo del tramo Km 1+550 – Km 7+150 representa un riesgo constante para los usuarios y una carga económica para las autoridades responsables de su mantenimiento.

Este trabajo de investigación es relevante porque permitirá identificar las causas de la inestabilidad de los taludes, analizando las características geotécnicas del área.

El objetivo general a desarrollar en esta investigación es: Evaluar geotécnicamente los taludes inestables en el tramo Km 1+550 – Km 7+150 de la carretera San Miguel - El Empalme. En este sentido, se requiere: Realizar el cartografiado geológico; caracterizar el

tipo de suelo en los puntos de control seleccionados; analizar la influencia de los factores desencadenantes como la precipitación, infiltración y sismicidad en la estabilidad de los taludes; evaluar la inestabilidad de los taludes mediante el cálculo del factor de seguridad.

En contraste con los resultados obtenidos, se evidencia lo siguiente:

Los resultados confirman que los taludes estudiados están conformados mayoritariamente por materiales no consolidados (depósitos cuaternarios coluviales y residuales), lo cual concuerda con el levantamiento geológico inicial. Esta condición de litologías poco competentes incrementa la susceptibilidad a procesos de inestabilidad.

El análisis geotécnico permitió clasificar los suelos predominantes como arenas limosas, arcillas inorgánicas y limos de baja plasticidad (SM, SC-SM, CL, ML según SUCS). Estas características reafirman la vulnerabilidad identificada, puesto que dichos suelos presentan baja resistencia al corte y alta sensibilidad a la saturación.

Los registros pluviométricos (653.300 mm – 1306.400 mm en 8 años) demuestran que la lluvia es un factor crítico en la inestabilidad de los taludes, ya que provoca la saturación de los suelos coluviales, disminuye la succión matricial y aumenta la presión de poro. Esto valida el objetivo planteado de analizar la influencia de la lluvia, coincidiendo con lo expuesto por Ishikawa et al. (2023), donde la infiltración y el mal drenaje reducen significativamente la estabilidad de los taludes.

Los cálculos realizados bajo el método pseudoestático evidencian que todos los taludes presentan $FS < 1$, confirmando su inestabilidad ante eventos sísmicos. Este resultado no solo cumple con el objetivo de evaluar la respuesta sísmica, sino que también coincide con lo señalado por Qian y Deng (2025) sobre las limitaciones y efectividad del método pseudoestático en zonas con actividad sísmica.

La integración de los factores más relevantes —tipo de suelo, saturación por precipitación e impacto sísmico— permitió calcular el FS de todos los taludes, obteniéndose valores que confirman su estado inestable. De esta manera, se valida el objetivo central de la investigación, y se justifica la necesidad de implementar medidas de mitigación como el mejoramiento del drenaje, el perfilado de los taludes y el monitoreo sísmico permanente.

Además, este estudio contribuirá al avance del conocimiento en el campo de la geotecnia aplicada, proporcionando información valiosa sobre el comportamiento del suelo en zonas de inestabilidad.

El estudio abarca un periodo de evaluación de 9 meses, desde el mes de enero hasta septiembre del 2025, considerando la recolección de datos de campo en épocas lluviosas y secas para evaluar las condiciones estacionales que afectan la estabilidad de los taludes.

La presente investigación consta de cinco capítulos:

Capítulo I, dedicado a la introducción del estudio, presenta una visión general de la investigación. Capítulo II, expone los antecedentes y fundamentos teóricos que sustentan y orientan el desarrollo de la investigación. Capítulo III, detalla los materiales y métodos utilizados, incluyendo la localización geográfica y política del área de estudio, su accesibilidad, características climáticas, vegetación. Además, se describe la metodología aplicada, la definición de variables, las técnicas e instrumentos empleados, así como el equipamiento utilizado. Capítulo IV, se enfoca en la presentación, análisis e interpretación de los resultados obtenidos, incluyendo la contrastación de la hipótesis planteada y la evaluación de su validez. Finalmente, el Capítulo V, contiene las conclusiones acordes a los objetivos del estudio y las recomendaciones propuestas para mejorar la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Vega y Velásquez (2020), en su estudio titulado "Análisis de inestabilidad del talud tramo NIC-7 (km 177-178) Santo Tomás, departamento de Chontales", los autores investigan la estabilidad de un tramo específico de la carretera NIC-7 en Nicaragua. La investigación se centra en identificar los factores que contribuyen a la inestabilidad de los taludes en esta área, incluyendo la litología, la meteorización, el ángulo de pendiente.

Bayati et al. (2025), realizaron el estudio: "Aproximaciones al análisis de estabilidad de taludes sometidos a carga sísmica: Una revisión", con el objetivo de comparar varios métodos analíticos y numéricos y destacar sus respectivas ventajas y limitaciones. Los principales métodos discutidos incluyen el enfoque pseudoestático y el análisis de esfuerzo-deformación. Los hallazgos indican que, si bien el análisis de tensión-deformación ofrece varias ventajas sobre el método pseudoestático, estos beneficios se traducen en una mayor complejidad, lo que requiere mayor tiempo y esfuerzo para la formulación del problema, la caracterización del material, la interpretación de los resultados y recursos computacionales significativamente mayores, es por ello que la selección del método adecuado debe basarse en el nivel de precisión requerido, las necesidades específicas del proyecto, los datos disponibles y la complejidad necesaria para capturar los aspectos críticos del problema.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Peña et al. (2023), en su estudio titulado "Evaluación del peligro por inestabilidad de taludes en la ruta PE-3S, Abancay", el autor se enfoca en el análisis de la estabilidad de los taludes en la carretera PE-3S, específicamente entre los kilómetros 770+617 y 771+706. Este tramo de la ruta presenta una serie de taludes susceptibles a deslizamientos y derrumbes, lo que pone en riesgo la seguridad de los usuarios de la vía.

Rodrigo (2017) en su investigación: “Tesis Profesional. Análisis de Estabilidad de Taludes en la Carretera Lajas – Ajipampa” en la cual se realizó la investigación con el objetivo analizar la estabilidad de taludes, por lo que realizó la caracterización geotécnica, obteniendo que los taludes presentan una geometría variada: altura de 5m a 40m, pie de talud de 5m hasta 40m, pendientes de 40° hasta 85°, contando las formaciones desde la Pariatambo hasta la Cajamarca, depósitos cuaternarios coluviales, deluviales y fluviales; que por su geomecánica son materiales frágiles y los suelos deluviales son dúctiles; el factor de seguridad se calculó a través de los softwares RocPlane y Slide en estado de saturación y sismicidad de los cuales se obtuvo que los taludes de suelos todos son inestables.

2.1.3 Antecedentes Locales

Aurazo y Aurazo (2022), en su estudio "Estudio Definitivo de la Carretera: Localidad El Alto, Distrito de Niepos – San Miguel – Cajamarca, Hasta la Ciudad de Oyotún – Chiclayo - Lambayeque", aborda la problemática de la carretera actual, una trocha carrozable en mal estado y peligrosa, especialmente durante la temporada de lluvias. Con una longitud de 31.929 km, el proyecto incluye estudios de geología y geotecnia, mecánica de suelos, impacto ambiental y análisis económicos, buscando garantizar la estabilidad del terreno, la transitabilidad y el desarrollo socioeconómico de la región.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Definición del Concepto Talud

Según Valiente et al. (2017), mencionan que bajo el nombre genérico de talud denominamos a la superficie inclinada, con respecto a la horizontal, que adoptan permanentemente o provisionalmente las estructuras de tierra. Estos pueden ser artificiales, cuando están contruidos por el hombre en sus obras de ingeniería (terraplén o desmonte), o naturales (laderas).

Asimismo, pueden ser de suelos, rocas o mixtos, variando a su vez la metodología de estudio. Suárez (2007), describe que un “talud” o ladera es una masa de tierra que no es plana, sino que presenta una pendiente o cambios significativos de altura.

En la literatura técnica se define como “ladera” cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y “talud” cuando se conformó artificialmente y presentan una geometría (Figura 1) con los siguientes elementos constitutivos:

- Altura:

Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.

- Cabeza:

Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.

- Pie:

Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.

- Pendiente:

Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación $m/1$, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical. Ejemplo: Pendiente: 45° , 100%, o 1H: 1V.

A una superficie de suelo expuesta que se sitúa en un ángulo con la horizontal se le llama talud sin restricciones.

La pendiente puede ser natural o construida. Si la superficie del suelo no es horizontal, un componente de la gravedad hará que el suelo se mueva hacia abajo, como se muestra en la figura siguiente.

Si la pendiente es lo suficientemente grande, puede ocurrir falla de la pendiente, es decir, la masa de suelo en la zona *abcdea* puede deslizarse hacia abajo (Ver Figura 1).

La fuerza motriz supera la resistencia del suelo al corte a lo largo de la superficie de ruptura (M. Das, 2013).

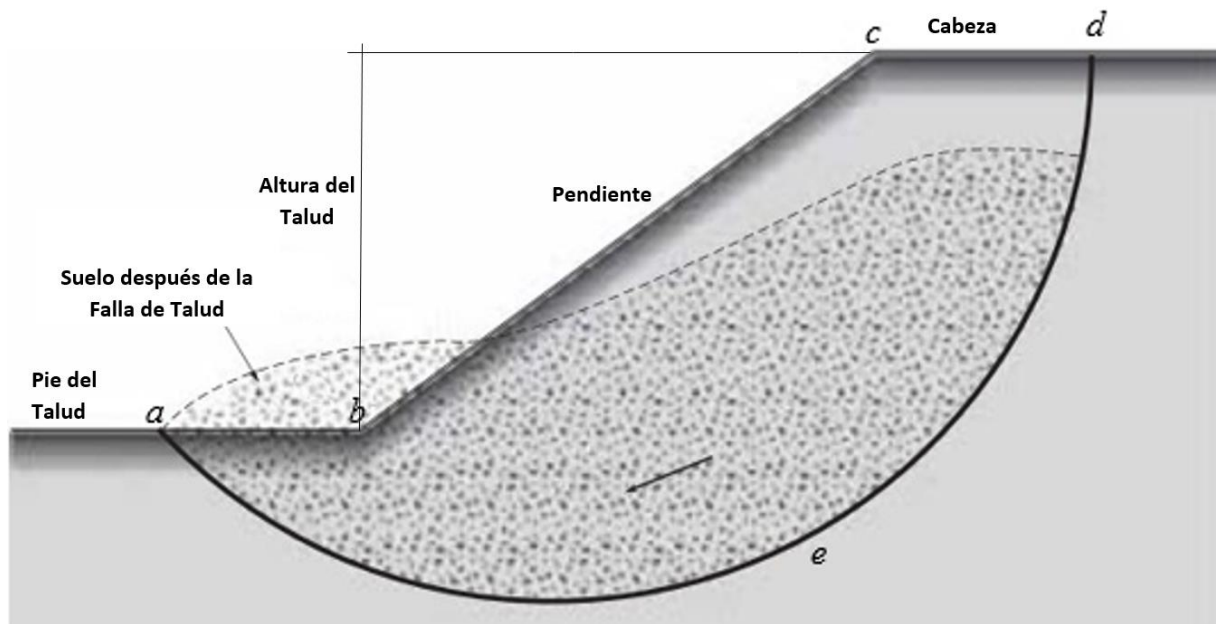


Figura 1: Partes de un Talud

Fuente: M. Das, (2014)

2.2.2 Tipología de Inestabilidad en Taludes

Al estudiar los fenómenos de inestabilidades de taludes, es necesario identificar y caracterizar los distintos tipos de comportamiento, y clasificarlos adecuadamente.

Un análisis preciso del tipo de rotura permite optimizar las medidas de contención y estabilización de taludes y laderas, ya que atiende al mecanismo actuante, la velocidad y las dimensiones (Corominas , 1989).

Por el contrario, una incorrecta definición del mecanismo de rotura puede dar lugar a soluciones incorrectas o ineficaces, y en algunos casos contraproducentes.

La clasificación clásica mayormente aceptada por la comunidad internacional viene recogida por Corominas (1989) (Figura 2), basada en el mecanismo de rotura y propagación del movimiento. De acuerdo a criterios morfológicos, se diferencian los siguientes tipos de movimientos:

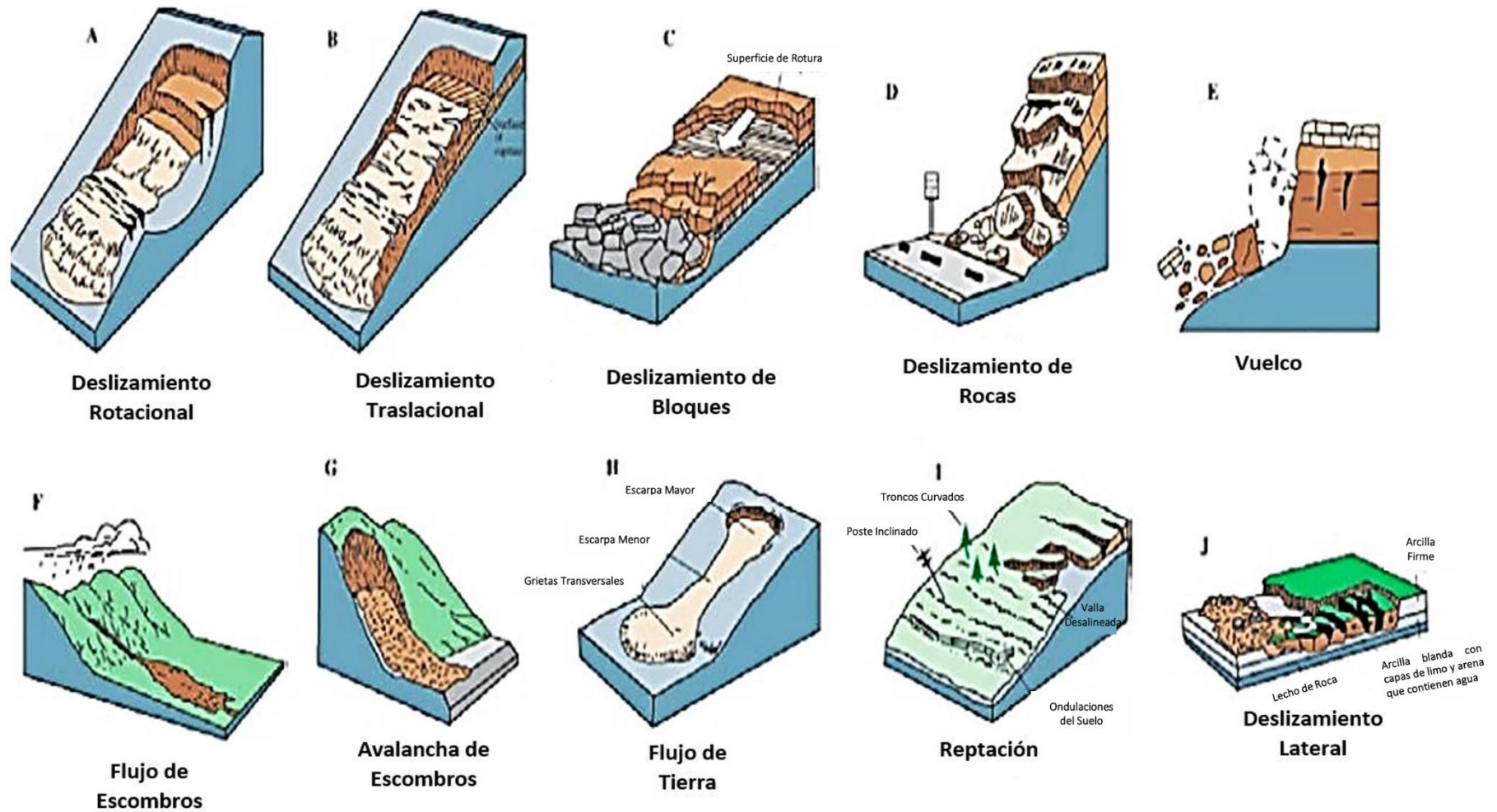


Figura 2: Clasificación movimientos terreno

Fuente: Corominas, (1989)

2.2.3 Factores que afectan la Estabilidad de Taludes

Según Cervera (2023), menciona que debemos tener en cuenta ciertos factores importantes a fin de controlar efectivamente la Estabilidad de un talud en obras de ingeniería, por ello a continuación se describen los principales factores:

➤ Resistencia al Corte del Suelo

En razón a que los esfuerzos cortantes que promueven la inestabilidad son paralelos a la superficie de falla, se requiere que el suelo resistente tenga la suficiente resistencia al corte o cizallamiento, cuando esta no es suficiente se debe intervenir el talud, casi siempre aumentando esta resistencia al corte, en muchos casos con obras como baterías de pilotes, anclajes activos o pasivos y otras técnicas que refuerzan directamente la zona crítica.

➤ Altura e Inclinación del talud

En casos de obras lineales, abatir la pendiente de un talud o un correcto diseño incluyendo bermas intermedias puede ser suficiente para garantizar la estabilidad de este, es importante garantizar que la escorrentía tendrá un manejo adecuado para evitar la erosión.

➤ Grado de Saturación

Claramente el grado de saturación del suelo incide directamente en la cohesión y así mismo en la pérdida de resistencia al corte, es por ello que se debe encausar el agua en la masa de suelo y conducirla de manera controlada a fin de evitar sus efectos nocivos en la estabilidad del mismo.

➤ Peso Unitario y Cohesión

Es necesario establecer los parámetros geomecánicos del suelo tratando de reducir al máximo la incertidumbre en los mismos, y así poder predecir el comportamiento que tendrá el talud, el cual está directamente relacionado con las fuerzas gravitacionales.

➤ Variación en el Equilibrio de Cargas Verticales

Se debe tener absoluta claridad que el incremento de cargas en la corona del talud puede conducir a su inestabilidad, y por el contrario el incremento de cargas en el pie del mismo puede ser una medida para contrarrestar una posible falla, es también importante controlar la forma en cómo se hacen este tipo de intervenciones y con la ayuda de modelos

matemáticos, ejecutar cortes con seguridad en taludes con el ánimo de evitar la alteración de su equilibrio de fuerzas.

➤ Intervenciones que afectan la Estabilidad de un Talud

Intervenciones que se realicen a un talud deben estar relacionados con uno o varios de los factores mencionados, sin perder de vista que el factor más sensible entre todos ellos es la cohesión, la cual con una pequeña variación puede significar la diferencia entre un talud estable o un deslizamiento (Figura 3).

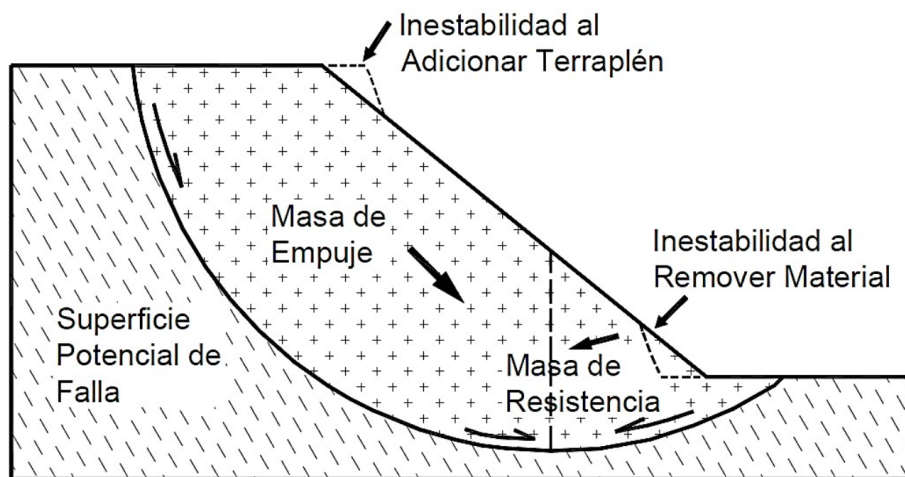


Figura 3: Intervenciones que afectan la Estabilidad de un Talud

Fuente: Cervera, (2023)

2.2.4 Clasificación de los Suelos

Para clasificar los suelos, consideramos el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el cual es ampliamente utilizado en estudios de geotecnia e ingeniería civil por su precisión y aplicabilidad en distintos tipos de proyectos. Este sistema permite identificar y agrupar los suelos en función de sus características granulométricas y de plasticidad, lo cual facilita su análisis y evaluación para usos específicos, como la estabilidad de taludes, diseño de cimentaciones, y obras viales. En la Tabla 1 correspondiente se muestra la clasificación detallada según el SUCS.

Tabla 1: Clasificación según el Sistema de Clasificación de Suelos Unificado (SUCS)

Divisiones Principales		Símbolos del grupo	Nombres Típicos
Suelos de Grano Grueso Más de la mitad del material retenido en el tamiz N° 200	Gravas	Gravas limpias (sin o con pocos finos)	GW Gravas, bien graduadas, mezclas grava - arena, pocos finos o sin finos.
	Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz N° 4 (4,76 mm)	GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava - arena, pocos finos o sin finos.
		GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.
		GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.
	Arenas	Arenas limpias (pocos o sin finos)	SW Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.
	Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz N° 4 (4,76 mm)	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.
		SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
		SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.

Divisiones Principales	Símbolos del grupo	Nombres Típicos
Suelos de Grano Fino Más de la mitad del material pasa por el tamiz N° 200	Limos y arcillas: Límite líquido menor de 50	ML Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.
		CL Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.
		OL Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.
	Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50	MH Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.
		CH Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.
		OH Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.
Suelos muy orgánicos	PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.

Fuente: Gonzáles de Vallejo, (2006)

2.2.5 Sismicidad

La probabilidad de ocurrencia de un sismo en el territorio nacional está dividida en cuatro zonas, como se muestra en la Figura 4. Esta zonificación sísmica se basa en estudios geológicos, tectónicos e históricos que permiten estimar el nivel de actividad sísmica en diferentes regiones del país.

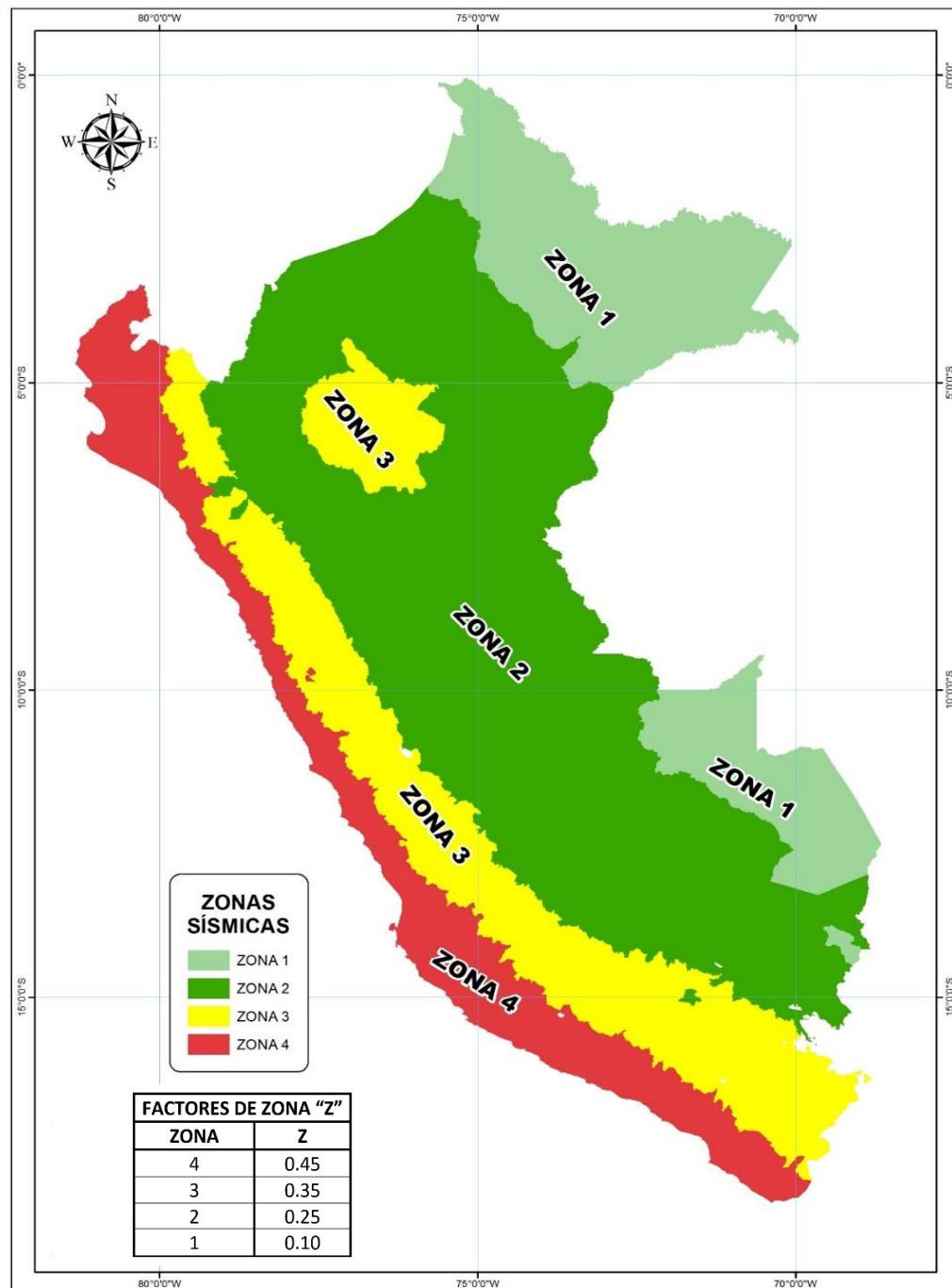


Figura 4: Susceptibilidad Sísmica del Territorio Peruano

Fuente: Norma E030, (2016)

La zonificación propuesta se fundamenta en la distribución geográfica de la actividad sísmica registrada, las características generales de los movimientos telúricos y su disminución con la distancia al epicentro, así como en datos neotectónicos. A cada región se le asigna un factor Z, según se detalla en la Tabla 2. Basándose en la ubicación en el mapa de la Figura 4, se determina que la zona de estudio se sitúa en la zona 3 el cual tiene un factor sísmico de 0.35.

Tabla 2: Factor de Susceptibilidad Sísmica por Zonas

FACTORES DE ZONA “Z”	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Fuente: Norma E030, (2016)

2.2.6 Análisis Pseudoestático de Taludes

El Comité Europeo de Normalización (CEN), (2003), en su Eurocódigo 8: Diseño de estructuras resistentes a terremotos - Parte 5: Cimentaciones, estructuras de contención y aspectos geotécnicos, menciona que:

El análisis pseudoestático es un método simplificado para evaluar la estabilidad de los taludes durante un evento sísmico. Este enfoque asume que el suelo se comporta de manera estática durante el terremoto, lo que significa que no tiene en cuenta la aceleración y la inercia del suelo. En lugar de considerar la aceleración sísmica real, se utiliza un factor pseudoestático que representa una aceleración equivalente.

Es importante tener en cuenta que el análisis pseudoestático es una herramienta simplificada y que su aplicación debe considerarse en el contexto de las limitaciones y suposiciones asociadas. En muchos casos, un análisis dinámico más detallado y realista puede ser necesario para una evaluación precisa de la estabilidad de los taludes durante eventos sísmicos.

El enfoque pseudoestático se ha utilizado desde la década de 1920 para analizar la estabilidad sísmica de las estructuras de tierra. Este enfoque representa los efectos de un terremoto mediante aceleraciones horizontales y/o verticales constantes.

El análisis pseudoestático se utiliza comúnmente para evaluar la estabilidad de los taludes durante un evento sísmico.

La literatura técnica proporciona diferentes valores de coeficientes pseudoestáticos para diferentes tipos de estructuras y terremotos. Se observa en la Tabla 3 los diferentes criterios propuestos para el uso del coeficiente pseudoestático que no hay reglas específicas para la escogencia de los coeficientes (Dismuke , 2002).

Tabla 3: Coeficientes sísmicos horizontales usualmente recomendados para diseño.

COEFICIENTE SÍSMICO HORIZONTAL, Kh	DESCRIPCIÓN	
0,05 – 0,15	Estados Unidos	
0,12 – 0,25	Japón	
0,10	Sismos “severos”	(Terzaghi, 1950)
0,20	Sismos “violentos”	
0,50	Sismos “catastróficos”	
0,10	Sismo importante	(Corps of Engineers, 1982)
0,15	Sismos muy importantes	
0,10 – 0,20	Seed (1979)	
1/2 – 1/3 de la aceleración pico horizontal	Franklin & Marcuson (1983)	
1/2 de la aceleración pico horizontal	Hynes-Griffin (1984)	

Fuente: Melo y Sharma, (2004)

Cabe resaltar que la aceleración vertical en el método pseudoestático suele ignorarse muchas veces y por lo tanto solo la aceleración horizontal es tomada en consideración. Durante el sismo, esta última suele añadir fuerzas desfavorables a los bloques, lo cual incrementa las fuerzas aplicadas y reduce las resistentes, y esto se expresa por medio de una disminución en el factor de seguridad (Hack et.al, 2007).

2.2.7 Métodos de Análisis de Estabilidad de Taludes

➤ Método de Equilibrio Límite

Durante muchos años se ha realizado el análisis de los movimientos de los taludes o laderas, haciendo uso de las técnicas de límite de equilibrio. Este sistema supone que, en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes, son iguales a lo largo de la superficie de falla y equivalentes a un factor de seguridad de 1.0. El análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas. (Suárez 2009).

Métodos exactos Según Suárez (2009), el método de equilibrio límite se basa en la estática, facilitando soluciones exactas; pero no se tiene en cuenta las deformaciones, la distribución de las presiones y generalmente se asume el material como isotrópico, supone esfuerzos uniformemente distribuidos y utiliza modelos de falla sencillos; por lo tanto, los métodos exactos se deben aplicar únicamente en taludes con geometría sencilla, como la rotura planar y la rotura en cuña.

➤ Métodos No Exactos

La geometría de la superficie de falla no permite obtener una solución exacta mediante las leyes de la estática (como sucede con los métodos exactos), debido a que se tiene una estática indeterminada y se deben tener consideraciones adicionales para obtener su solución.

➤ Método de Dovelas

Para la aplicación de este método es necesario dividir la masa susceptible de deslizamiento en una serie de tajadas o rebanadas verticales y estudiar el equilibrio de cada una de ellas aisladamente, teniendo en cuenta la influencia de todas las demás, siendo mayor la precisión cuanto mayor sea la cantidad de tajadas (Figura 5).

El problema presenta más incógnitas que ecuaciones; esto obliga a realizar unos supuestos, que son los que caracterizan y diferencian unos métodos de otros (Ramírez y Alejano 2004).

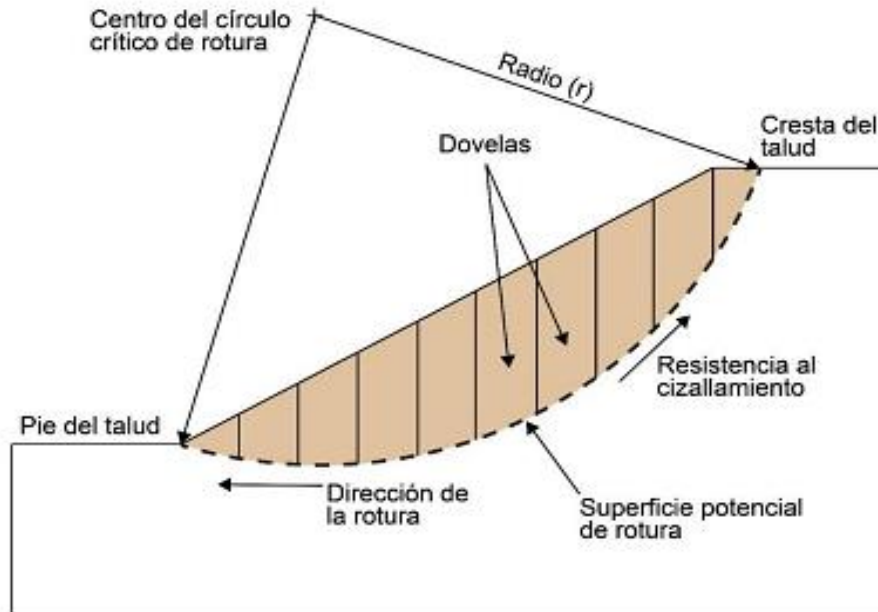


Figura 5: División en rebanadas verticales de una masa deslizante de una rotura circular.

Fuente: Ramírez y Alejano, (2004)

Los métodos de dovelas utilizados en esta investigación, son los descritos por Ramírez y Alejano (2004). Además, Suárez (2009) presenta algunos de los métodos más utilizados (ver Tabla 4).

Tabla 4: Métodos de Análisis de Estabilidad de Taludes

Método	Superficie de Falla	Equilibrio	Características
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	Fuerzas	No tiene en cuenta las fuerzas entre dovelas y no satisface equilibrio de fuerzas, tanto para la masa deslizante como para las dovelas individuales, los factores de seguridad son bajos
Bishop Simplificado (Bishop 1955)	Circulares	Momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo en número de incógnitas.
Lowe y Karafiath (1960)	Cualquier forma de superficie de falla	Fuerzas	Se considera el más preciso de los métodos de equilibrio de fuerzas.
Spencer (1967)	Cualquier forma de superficie de falla	Momentos y Fuerzas	Establece el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante, pero desconocida.
Janbu Simplificado (Janbu 1968)	Cualquier forma de superficie de falla	Fuerzas	Al igual que Bishop, asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. Los factores de seguridad son bajos.
Sueco Modificado U.S. Army Corps of Engineers (1970)	Cualquier forma de superficie de falla	Fuerzas	Asume que todas las fuerzas tienen la misma dirección que la superficie de terreno. Los factores de seguridad son generalmente altos.
Sarma (1973)	Cualquier forma de superficie de falla	Momentos y Fuerzas	Permite desarrollar una relación entre el coeficiente sísmico y el Factor de Seguridad.
Morgenstern y Price	Cualquier forma de superficie de falla	Momentos y Fuerzas	El método es similar al método Spencer con la diferencia que la inclinación de la resultante de las fuerzas entre dovelas se asume que varía de acuerdo a una función arbitraria.
Elementos Finitos	Cualquier forma de superficie de falla	Analiza esfuerzos y deformaciones	Satisface todas las condiciones de esfuerzo. Se obtienen esfuerzos y deformaciones en los nodos de elementos, pero no se obtiene un Factor de Seguridad.
Espiral Logarítmica	Cualquier forma de superficie de falla	Momentos y fuerzas	Existen diferentes métodos con diversas condiciones de equilibrio.

Fuente: Suárez, (2009)

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Precipitación. La precipitación consiste en la caída hasta la superficie de la Tierra del agua de las nubes, ya sea en forma líquida o sólida. (Núñez, 2023)

Infiltración. La infiltración es el proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra en el suelo. La tasa de infiltración, en la ciencia del suelo, es una medida de la tasa a la cual el suelo es capaz de absorber la precipitación o la irrigación. (Úbeda , 2018)

Amenaza Sísmica. Probabilidad de ocurrencia de eventos asociados con un sismo (movimientos de masa, rotura del terreno, fallas en superficie, deformación tectónica, inundaciones) que causen daños materiales o pérdidas de vidas en un lugar y en un lapso de tiempo determinados (Hoyos, 2012).

Suelo. Cobertura superficial de la corteza terrestre que surge como resultado de la alteración de los minerales de las rocas preexistentes. La formación del suelo implica el proceso de meteorización química de los minerales primarios, lo que conduce a la creación de nuevos minerales. (Dávila , 2011)

Cohesión. Es la adherencia entre los fragmentos, partículas o granos de las rocas es el resultado de la interacción mutua entre ellos, facilitada por la presencia de una matriz cementante. (Dávila , 2011)

Ángulo de Fricción. La resistencia al deslizamiento, originada por la fricción entre las superficies de contacto de las partículas y su densidad, fue inicialmente descrita por Amonton G. en 1699 (Lambe y Whitman, 2004).

Factor de seguridad (FS). El Factor de Seguridad (FS) es una relación entre fuerzas resistentes y fuerzas actuantes.

Grava bien Gradada (GW). Según Das (2014), las gravas bien gradadas son suelos granulares compuestos por partículas gruesas con una distribución amplia y continua de tamaños, lo que permite un adecuado acomodo entre partículas. Este tipo de suelo presenta alta resistencia al corte, baja compresibilidad y elevada permeabilidad, debido al buen engranamiento granular.

Arcilla de baja plasticidad (CL). De acuerdo con Das (2014), las arcillas de baja plasticidad corresponden a suelos finos cohesivos con límites de plasticidad reducidos. Su

comportamiento mecánico está dominado por la cohesión, presentan baja permeabilidad y una compresibilidad moderada, siendo sensibles a variaciones en el contenido de humedad.

Arena limosa (SM). Según Das (2014), las arenas limosas son suelos predominantemente arenosos que contienen una cantidad apreciable de limo no plástico. La presencia de finos reduce la permeabilidad y la resistencia al corte en comparación con arenas limpias, pudiendo presentar problemas de estabilidad bajo cargas dinámicas.

Limo de baja plasticidad (ML). Das (2014) define los limos de baja plasticidad como suelos finos con comportamiento no cohesivo o de cohesión muy baja, caracterizados por baja resistencia al corte y alta susceptibilidad a cambios de humedad. Estos suelos suelen presentar elevada compresibilidad y baja estabilidad en condiciones saturadas.

Arena arcillosa–limosa (SC–SM). Según Das (2014), los suelos clasificados como SC–SM corresponden a arenas que contienen mezclas significativas de arcilla y limo. Su comportamiento geotécnico es intermedio entre arenas cohesivas y no cohesivas, presentando permeabilidad moderada y una resistencia al corte que depende del contenido y tipo de finos.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Política

La zona de investigación se encuentra ubicada políticamente en el Departamento de Cajamarca, Provincia de San Miguel, Distritos de Calquis y San Miguel. (Ver Anexo B. P-01).

3.1.2 Geográfica

Geográficamente se encuentra en la Cordillera Occidental del Norte Peruano como lo podemos observar en la Ilustración 1, delimitado por los siguientes vértices principales (Ilustración 1, Tabla 5) en el sistema UTM con DATUM WGS-84, Zona 17S.

Tabla 5: Vértices del Área de Investigación

VÉRTICE	NORTE	ESTE
V1	9230467	738713
V2	9230141	739560
V3	9225565	737843
V4	9225867	736981

3.1.3 Accesibilidad

Para acceder a la zona de investigación se toma la ruta PE-3N desde el departamento de Cajamarca con dirección al distrito de Bambamarca, llegando al cruce El Empalme, posteriormente nos dirigimos rumbo al Distrito de San Miguel, ya sea en movilidad personal o particular. Los tramos y distancia a recorrer se presentan en la Tabla 6, además podemos ver la vía de acceso en la Ilustración 1.

Tabla 6: Datos de Accesibilidad

Origen / Destino	Tipo de Vía	Distancia (Km.)	Velocidad (Km./h)	Tiempo (Horas)
Cajamarca – El Empalme	Asfaltado	76	60	2.6
El Empalme – San Miguel	Trocha afirmada	37	40	1
Total		113		3.6

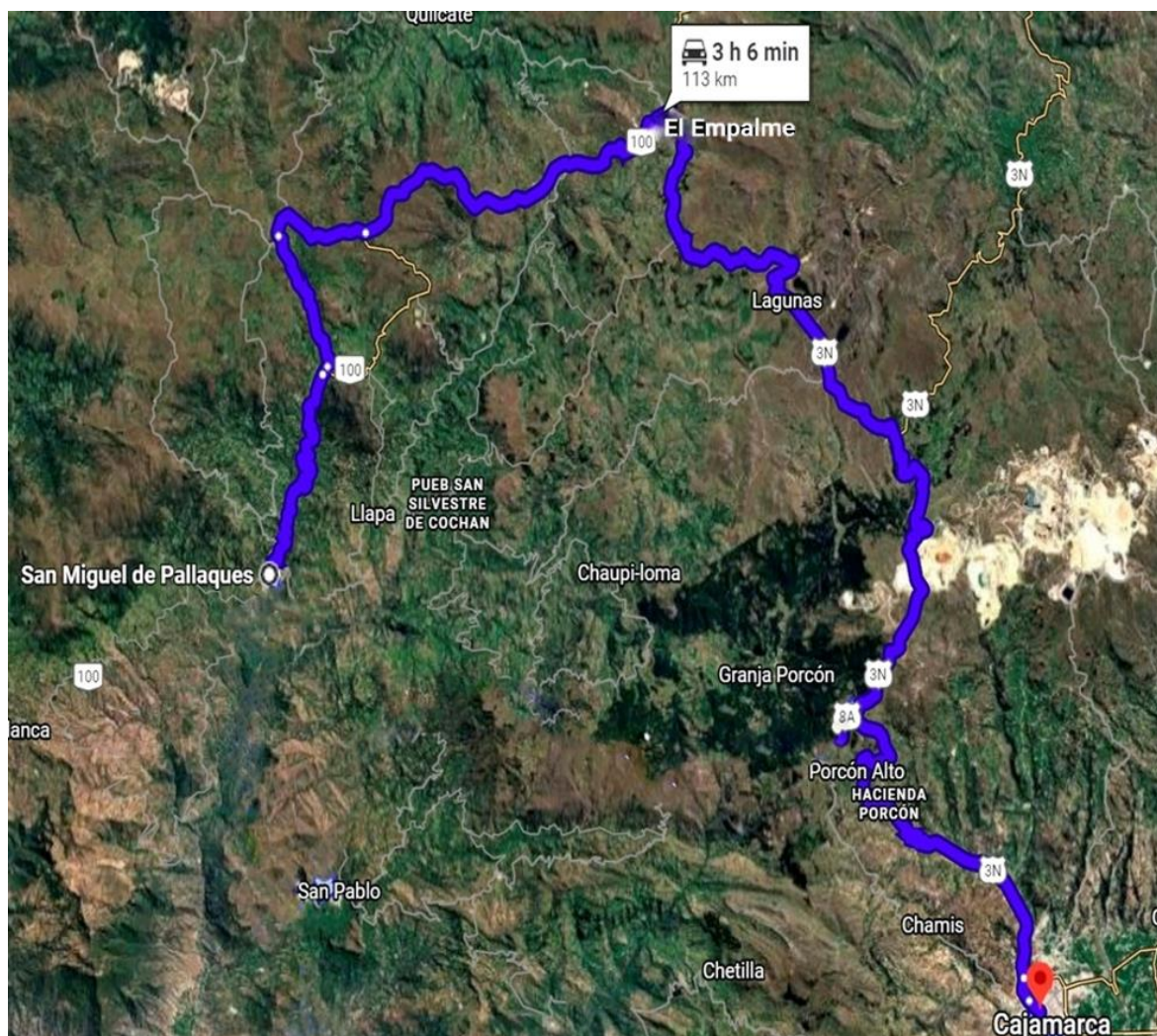


Ilustración 1: Rutas de Accesibilidad a los Distritos de San Miguel y Calquis.

Fuente: Obtenido de Google Maps, (2025)

3.2 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 Tipo, Diseño y Método de la Investigación

La investigación es de tipo no experimental y transversal en el tiempo; y el diseño de investigación es de carácter descriptivo, correlacional y explicativo. El método de investigación es deductivo - inductivo. Así, a partir de la observación directa en campo y el análisis documental, se describen las características geológicas y geotécnicas; se correlacionan con las variables: precipitación, infiltración y de sismicidad, que inciden sobre los suelos, para finalmente calcular el factor de seguridad y explicar la inestabilidad de los taludes en el tramo Km 1+550 – Km 7+150 de la carretera San Miguel - El Empalme.

3.2.2 Población de Estudio

Taludes inestables en 5.6 km del tramo Km 1+550 – Km 7+150 de la carretera San Miguel - El Empalme.

3.2.3 Muestra

Puntos de control en taludes inestables.

3.2.4 Unidad de Análisis

Tipo de suelo, precipitación, infiltración y sismicidad.

3.2.5 Definición de Variables

Se establecieron seis variables independientes y una variable dependiente para el desarrollo de la investigación.

Tabla 7: Variables Independientes y Dependientes

Variables independientes (Causa)	Variables dependientes (Efecto)
Tipo de Suelo	Inestabilidad de Taludes
Precipitación	
Infiltración	
Sismicidad	

3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1 Técnicas

Las técnicas empleadas que se desarrollarán son la observación, descripción de rocas y suelos, interpretación y análisis documental. Además, cabe señalar que para la realización de la investigación se harán en tres etapas: la primera de gabinete, donde se hará una recolección bibliográfica del tema, la segunda de campo, en donde se realizarán la toma de datos que caractericen los afloramientos, y una tercera de gabinete, que es procesar los datos de campo.

3.3.2 Instrumentos y Equipos

La toma de datos se realizará con los siguientes instrumentos y equipos:

- **Brújula tipo Brunton.** La brújula tipo Brunton se utilizó para las orientaciones de los planos.
- **Picota de geólogo.** La picota de geólogo se utilizó para la excavación superficial, permitiendo obtener superficies frescas para la correcta identificación de los materiales geológicos y geotécnicos presentes.
- **Rayador.** El rayador se utilizó para la evaluación de la dureza relativa de los materiales, facilitando la diferenciación de suelos residuales, coluviales y eluviales, así como la identificación preliminar de fragmentos líticos en los taludes.
- **GPS Navegatorio (Garmin 64 S Map).** Se utilizó para la georreferenciación precisa de los 12 taludes evaluados, calicatas, puntos de muestreo y estaciones geotécnicas, permitiendo la correcta ubicación espacial de los taludes.
- **Protactor.** El protactor se utilizó para la medición de ángulos de talud, inclinaciones y pendientes en los planos.
- **Libreta de campo.** La libreta de campo se utilizó para el registro sistemático de la información recopilada durante el trabajo de campo, incluyendo descripciones litológicas, condiciones geotécnicas, presencia de humedad, evidencias de inestabilidad, coordenadas, croquis y observaciones relevantes.
- **Cámara fotográfica marca Sony.** La cámara fotográfica marca Sony se utilizó para la documentación visual.

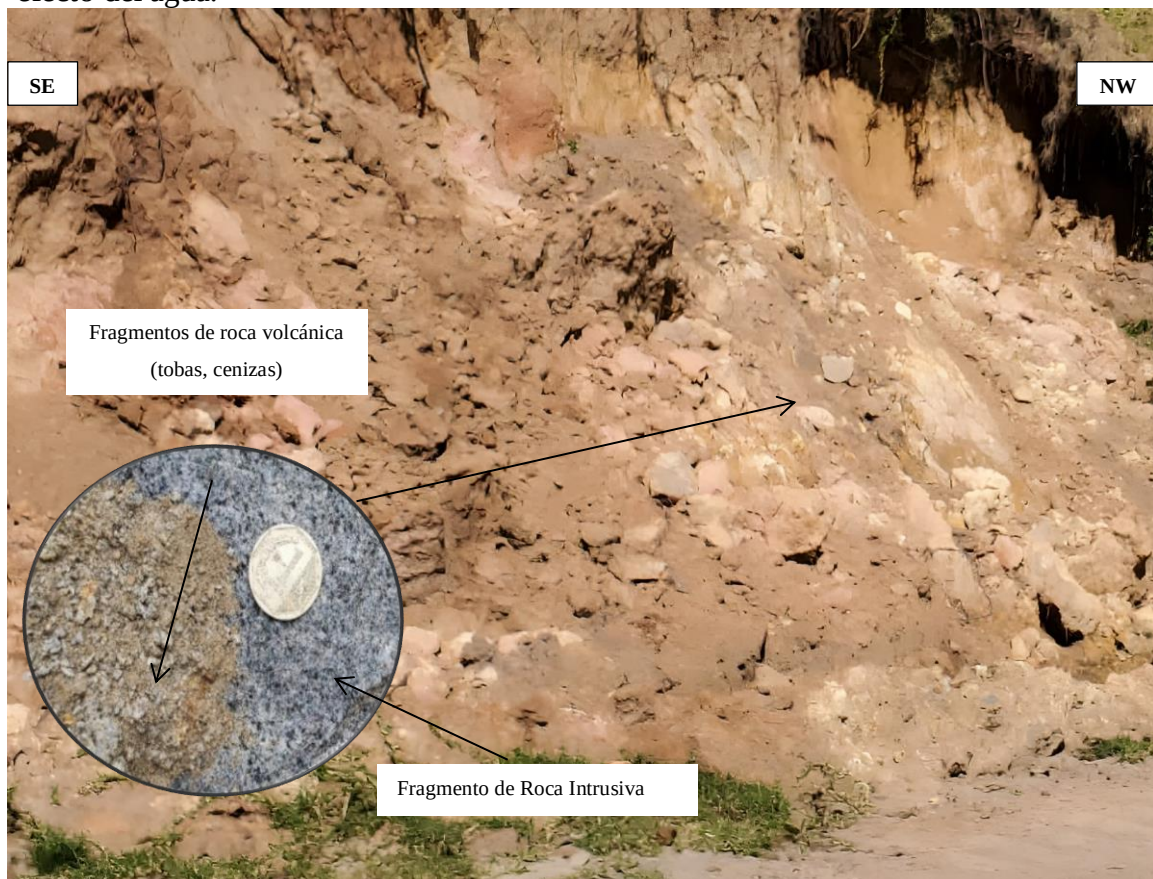
- **Wincha (50 m).** La wincha de 50 m se utilizó para la medición de longitudes, alturas y de los taludes.
- **Ácido clorhídrico (HCl).** El ácido clorhídrico (HCl) se utilizó para la identificación de materiales carbonatados presentes en algunos sectores del tramo evaluado, mediante la observación de efervescencia al contacto con la muestra.
- **Lupa 30X (30 aumentos).** La lupa de 30 aumentos se utilizó para la observación de partículas, minerales y texturas del material geológico.
- **Planos topográfico y geológico a escala 1:20 000:** Los planos topográfico y geológico a escala 1:20 000 se utilizaron para la ubicación de los taludes, análisis del relieve, drenaje y estructuras geológicas, así como para la planificación del trabajo de campo y la interpretación de los resultados.
- **Imagen satelital a escala 1:20 000.** La imagen satelital a escala 1:20 000 se utilizó para la ubicación de las zonas inestables, drenajes y procesos geomorfológicos.

3.4 GEOLOGÍA LOCAL

En la geología local encontramos la presencia de Depósitos Coluviales, Depósitos Residuales y parte de la Formación Celendín (Ver en Anexos, Plano N°4 y Columna N°1)

3.4.1 Depósitos Coluviales

Estos materiales se encuentran representados por bloques, cantos y gravas (materiales ígneos como: tobas, granodioritas) (Ver Fotografía 1, Tabla 8 y 9, Columna N°1), dispuestos de manera caótica y heterométrica, contenidos en una matriz arcillosa-limosa de tonalidad amarillenta a grisácea. Los depósitos presentan un bajo grado de compactación y muestran una alta susceptibilidad a la inestabilidad, generalmente cuando se encuentran saturados por efecto del agua.



Fotografía 1: Depósitos Coluviales

Tabla 8: Descripción Macroscópica de la Roca Toba

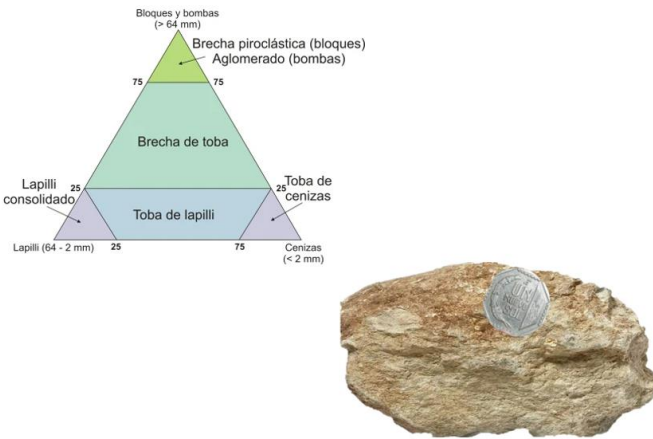
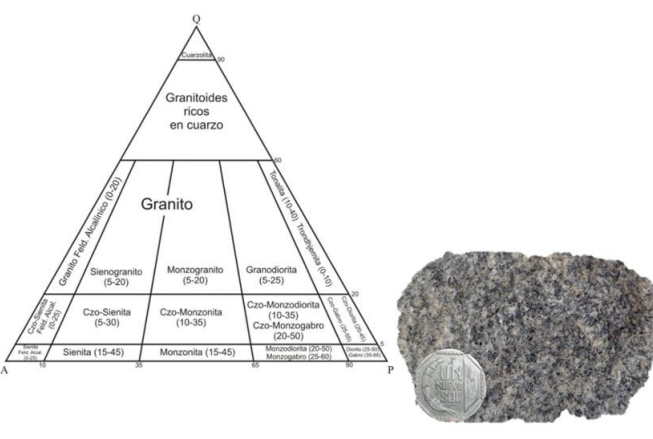
CARTA	ZONA	FORMACIÓN	TIPO DE ROCA	COORDENADAS UTM	
14-F	Cuadrángulo de Chota	Depósitos Coluviales	Clástica	738122	9227611
CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS		CÓDIGO DE MUESTRA		M-001	
Color de superficie intemperizada	Anaranjado oscuro	 Diagrama ternario de clasificación de tobas: - Vertice superior: Bloques y bombas (> 64 mm) - Línea superior: Brecha piroclástica (bloques) y Aglomerado (bombas) - Área superior: Brecha de toba - Área inferior izquierda: Lapilli consolidado - Área inferior derecha: Toba de cenizas - Base izquierda: Lapilli (64 - 2 mm) - Base derecha: Cenizas (< 2 mm) Muestra de roca toba con una moneda para escala.			
Color de superficie fresca	Amarillo				
Brillo	Satinado				
Tamaño de grano	Fino				
Composición	Arenas cuarzosas				
Presencia de restos de fósiles	No				
Reacción al HCl	No				
Clasificación	Volcánica				
Nombre	Toba de cenizas				
Comentarios	Deleznable				

Tabla 9: Descripción Macroscópica de la Roca Granodiorita

CARTA	ZONA	FORMACIÓN	TIPO DE ROCA	COORDENADAS UTM	
14-F	Cuadrángulo de Chota	Depósitos Coluviales	Clástica	738378	9228788
CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS		CÓDIGO DE MUESTRA		M-002	
Color de superficie intemperizada	Amarillento				
Color de superficie fresca	Gris oscuro				
Brillo	Resinoso				
Tamaño de grano	Medio				
Composición	Biotitas, feldespatos, cuarzo				
Presencia de restos de fósiles	No				
Reacción al HCl	No				
Clasificación	Plutónica				
Nombre	Granodiorita				
Comentarios	Muy dura				

3.4.2 Depósitos Eluviales (Residuales)

Estos depósitos están conformados por suelos arcillo-limosos que contienen inclusiones dispersas de clastos angulosos a subangulosos, de origen volcánico. Presentan una coloración rojiza (Ver Fotografía 2), atribuida a su contenido ferruginoso. Su estructura es masiva, con una consistencia poco compacta y plasticidad reducida. Estos depósitos se caracterizan por su alta inestabilidad cuando se encuentran saturados por efecto del agua.



Fotografía 2: Depósitos Eluviales (Residuales)

3.4.3 Afloramientos de Intrusivos (Nm-di)

Corresponden a cuerpos intrusivos de composición diorítica que afloran de manera puntual en el área de estudio, están constituidas principalmente por cristales de plagioclasa y anfíbol.

3.4.4 Volcánico Chicche–Hueco Grande – Evento (Nm-chg/4)

Esta unidad está representada por depósitos asociados a flujos piroclásticos de bloques y cenizas, caracterizados por una coloración gris verdosa y una estructura masiva.

3.4.5 Grupo Calipuy–Evento (Po-am/2)

La unidad corresponde a depósitos generados por flujos piroclásticos de pómez y cenizas, con una alta concentración de cristales y tonalidades que varían entre gris claro y blanquecino.

3.4.6 Formación Celendín

En las zonas erosionadas por el Río San Miguel podemos presenciar la Formación Celendín (Ver Fotografía 3), esta formación al tener calizas de color crema a marrón es fácilmente reconocible, además su presencia se debe a una falla como se menciona en el apartado 3.5 (Geología Estructural).



Fotografía 3: Presencia de la Formación Celendín

3.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La unidad geológica denominada Volcánico Porculla es la que se encuentra a lo largo de toda la zona de estudio. Sin embargo, gran parte de su superficie se encuentra cubierta por depósitos cuaternarios, los cuales enmascaran significativamente las características del sustrato rocoso.

Los depósitos cuaternarios dificultan la observación directa y, por ende, la identificación de estructuras geológicas mayores y menores, tales como fallas, pliegues, fracturas y contactos litológicos.

El análisis estructural requiere del apoyo de métodos indirectos, tales como la identificación de cambios litológicos en las zonas erosionadas por el Río San Miguel.

3.5.1 Falla Geológica

Al estar limitados por la cobertura cuasi total del área por depósitos cuaternarios, recurrimos a las zonas erosionadas por el Río San Miguel, de esta manera se encontró evidencias de una falla geológica, teniendo así la presencia de la Formación Celendín y estrías en su litología, esta formación es fácilmente reconocible por la presencia de calizas de color crema a marrón, intercaladas con limolitas amarillentas como se muestra en la Fotografía 4.

Debido a la cobertura casi total del área por depósitos cuaternarios, la identificación de estructuras geológicas se ve limitada. Por esta razón, se recurrió al análisis de las zonas erosionadas por el río San Miguel, donde fue posible reconocer evidencias de una falla geológica.

En este sector aflora la Formación Celendín, esta formación se distingue con facilidad por la presencia de calizas de tonalidades crema a marrón, además presenta estrías en su litología (Fotografía 3), dejando indicios de una probable falla geológica (Ver Plano N°4).



Fotografía 4: Afloramiento de la Fm-Celendín al margen derecho del Río San Miguel

De acuerdo con Malsbury (2021), los ríos y las fallas mantienen una estrecha interacción en la configuración del relieve, ya que los cauces suelen aprovechar las zonas de debilidad estructural generadas por las fallas, facilitando así el discurrir de sus aguas y contribuyendo al modelado de la topografía circundante. La presencia de la Formación Celendín, junto con las estrías observadas en la litología (Fotografía 4), permite inferir la existencia de una falla geológica que sigue el curso del Río San Miguel.

3.6 HIDROLOGÍA

3.6.1 Precipitación

Para los fines de esta investigación, se considera la cuenca Alta del Jequetepeque como cuenca de origen, donde la estación meteorológica San Miguel es la más cercana a la zona de estudio que pertenece al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, SENHAMI, (2025).

Según la metodología propuesta por Ortiz (2014), para determinar la precipitación en una zona determinada primero obtenemos el Factor de Transposición usando la siguiente ecuación:

$$(F_t) = H/H_1$$

Donde:

- **F_t** = Factor de Transposición
- El parámetro “**H**” que representa a la altitud media se consideró de la investigación de Alvarez (2022), el cual es de **H = 2 311 msnm**.
- El parámetro “**H₁**” que representa a la altitud de la estación meteorológica se obtuvo de la base de datos del SENAMHI, el cual es: **H₁ = 2 666 msnm**.

Por lo tanto, el Factor de Transposición es: **F_t = 0.86**

Luego, este factor multiplica a cada valor de precipitación de la Estación San Miguel para los años 2017 - 2024, obteniendo los valores de precipitación para la zona de estudio, siguiendo la ecuación:

$$PP = H/H_1 * PP_1$$

Donde:

- **PP** = Precipitación a la Altitud H
- **PP1** = Precipitación máxima anual
- **H** = Altitud Media de la Cuenca o la Zona a Trasponer
- **H1** = Altitud de la Estación de Origen

El cálculo de las precipitaciones anuales se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10:Precipitación por Años (2017-2024)

PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 HORAS			
AÑO	PRECIPITACIÓN MÁXIMA	FT	PRECIPITACIÓN A LA ALTURA 2 311 M
2017	51.10	0.86	43.95
2018	36.50	0.86	31.39
2019	74.00	0.86	63.64
2020	18.50	0.86	15.91
2021	37.80	0.86	32.51
2022	37.80	0.86	32.51
2023	56.70	0.86	48.76
2024	66.60	0.86	57.28

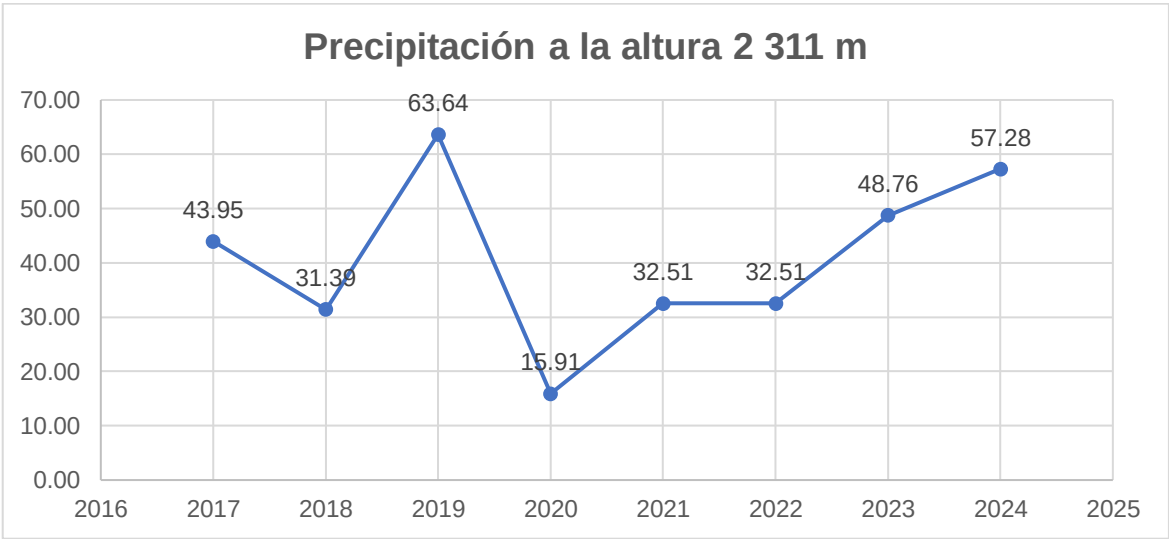


Ilustración 2: Gráfico de precipitación por años (2017-2024)

3.6.2 Esguurrimiento e Infiltración

Según Rodríguez (2016), la infiltración es la variable externa más importante que afecta los parámetros geomecánicos, como la resistencia de suelos y rocas, estos son la cohesión y el ángulo de fricción interna; así cuando el agua ingresa por la porosidad primaria y secundaria, afecta la resistencia de los materiales y es probablemente la responsable de los eventos geodinámicos.

Teniendo en consideración, los valores de precipitación obtenidos se tomarán como base para la determinación de los parámetros de infiltración (**F**), precipitación total (**PP**), precipitación efectiva o esguurrimiento (**Pe**) y los volúmenes de infiltración (**VF**).

Las mayores precipitaciones en la zona se presentaron en el año 2019 con valor máximo de 63.64mm. Teniendo en consideración el tipo de suelo limo arcilloso, se considera un coeficiente de esguurrimiento $C = 0.82$, valor aceptado por Rodríguez (2016) por lo tanto, el Coeficiente de Infiltración (C_i) es: **$C_i = 1 - C = 0.18$** .

El balance hidrológico se realizó de acuerdo al procedimiento de cálculo de Rodríguez (2016) (ver Tabla 11). De ello se obtiene que el volumen de infiltración (VF) en toda la unidad hidrográfica es de 3615.364 MMC (100% del VF), y la infiltración en la zona de investigación es de 5.001 MMC, que representa el 0.138 % del total del volumen de infiltración.

Tabla 11:Blance Hidrológico

BALANCE HIDROLÓGICO									
		1	2	3=1*2	4=1-3 en mm	5=4/1000 en m	6=5*Auh en m³	7=6/1000000 en MMC	8=(7/3615.364)*100
CICLOS DE PRECIPITACIÓN EN AÑOS	NÚMERO DE AÑOS POR CICLO	PP	C	Pe	F	F	VF	VF	%
			C = Pe / PP	Pe = C * PP	F = PP - Pe	F = PP - Pe	VF = F * Auh	VF = F * Auh	%
		mm		mm	mm	m	m3	MMC	%
		PRECIPIT. TOTAL (PP)	COEF. ESCORRENTÍA (C)	PRECIP. EFECTIVA O ESCURRIMIENTO (Pe)	INFILTRACIÓN (F)	INFILTRACIÓN (F)	VOLUMEN DE INFILTRACIÓN (VF)	VOLUMEN DE INFILTRACIÓN (F)	%PARCIAL DE LA PRECIPIT. TOTAL
2017-2018	1	1306.400	0.860	1123.504	182.896	0.183	602583793.280	602.584	16.66731
2018-2019	1	803.600	0.860	691.096	112.504	0.113	370664678.720	370.665	10.25249
2019-2020	1	1160.000	0.860	997.600	162.400	0.162	535056032.000	535.056	14.79951
2020-2021	1	704.400	0.860	605.784	98.616	0.099	324908162.880	324.908	8.98687
2021-2022	1	1068.400	0.860	918.824	149.576	0.150	492805055.680	492.805	13.63086
2022-2023	1	933.500	0.860	802.810	130.690	0.131	430581729.200	430.582	11.90978
2023-2024	1	1208.500	0.860	1039.310	169.190	0.169	557426909.200	557.427	15.41828
2024-2025	1	653.300	0.860	561.838	91.462	0.091	301338022.160	301.338	8.33493
	8	7838.100	0.860	6740.766	1097.334	1.097	3615364383.120	3615.364	100.000
	Auh (km2)	3294.680						3615.364	100.000
	Auh (m2)	3294680000							
	Ainvest. (km2)	4.557							
	Ainvest. (m2)	4557000						5.001	0.138

Fuente: Tomado de Rodríguez, (2016). Data del tesista.

3.7 SISMICIDAD

La selección del coeficiente pseudoestático horizontal se realizó considerando que no existen reglas únicas para su determinación, por lo que su elección debe basarse en criterios técnicos y normativos.

En el método pseudoestático se suele despreciar la aceleración vertical, tomando únicamente la aceleración horizontal, debido a que esta genera los efectos más desfavorables sobre la estabilidad de los taludes y provoca una disminución del factor de seguridad (Hack et al. 2007).

De acuerdo con la Norma Técnica E.030 (2016), la zona de estudio se ubica en la zona sísmica 3, a la cual se le asigna un factor sísmico $Z = 0,35$ el cual corresponde a la aceleración máxima horizontal.

Se observa en la Tabla 12 los diferentes criterios propuestos para el uso del coeficiente pseudoestático que no hay reglas específicas para la escogencia de los coeficientes.

Tabla 12: Coeficientes sísmicos horizontales usualmente recomendados

COEFICIENTE SÍSMICO HORIZONTAL K_h	DESCRIPCIÓN	
0.05-0.15	Estados Unidos	
0.12-0.25	Japón	
0.10	Sismos "severos"	
0.20	Sismos "violentos"	Terzaghi
0.50	Sismos "catastróficos"	
0.10	Sismos importantes	Corps of Engineers (1982)
0.15	Sismos muy importantes	
0.10-0.20	Seed (1979)	
1/2-1/3 de la aceleración pico horizontal	Franklin Marcuson (1983)	
1/2 de la aceleración pico horizontal	Hynes-Griffin (1984)	

Fuente: (Melo y Sharma, 2004)

En ese contexto, para esta investigación, al ser una zona poco sísmica, tomaremos el criterio de Hynes-Griffin (1984), puesto que es conservador y recomienda emplear el 50 % de la aceleración máxima horizontal como coeficiente pseudoestático, entonces se tiene que:

$$Z = 0,35 \text{ aceleración máxima horizontal.}$$

$$K = \frac{1}{2} * Z = 0.175 \text{ coeficiente sísmico horizontal.}$$

Por lo que se considera **Kh = 0.175**, valor que representa adecuadamente los efectos sísmicos para el análisis de estabilidad de los taludes a evaluar en esta investigación.

3.8 UNIDADES MORFOGENÉTICAS

En esta investigación se ha optado por utilizar la clasificación establecida por Rodríguez (2016), dónde considera la relación de la pendiente con la forma del relieve, teniendo así la siguiente clasificación: planicies, lomadas, laderas y escarpas. (Ver Tabla 13 y Plano N°3)

Tabla 13: Clasificación de las unidades morfogénicas

UNIDAD MORFOGENÉTICA	PENDIENTE
Planicies	(0°-8°)
Lomadas	(8° a 20°)
Laderas	(20° a 50°)
Escarpas	(>50°)

Fuente: Rodríguez, (2016)

3.8.1 Planicies

En el área de estudio se evidencian como zonas con una pendiente muy suave, inferior a los 8 grados, conformadas principalmente por depósitos cuaternarios. Estas áreas están cubiertas por pastizales, los cuales son aprovechados para actividades de crianza de ganado y agricultura (Fotografía 5).



Fotografía 5: Vista de una planicie en el Km 03+760

3.8.2 Lomadas

Las unidades morfogenéticas están conformadas por depósitos cuaternarios y cobertura vegetal que sirve como recurso para la actividad ganadera (Fotografía 6).



Fotografía 6: Vista de una lomada en el Km 04+800

3.8.3 Laderas

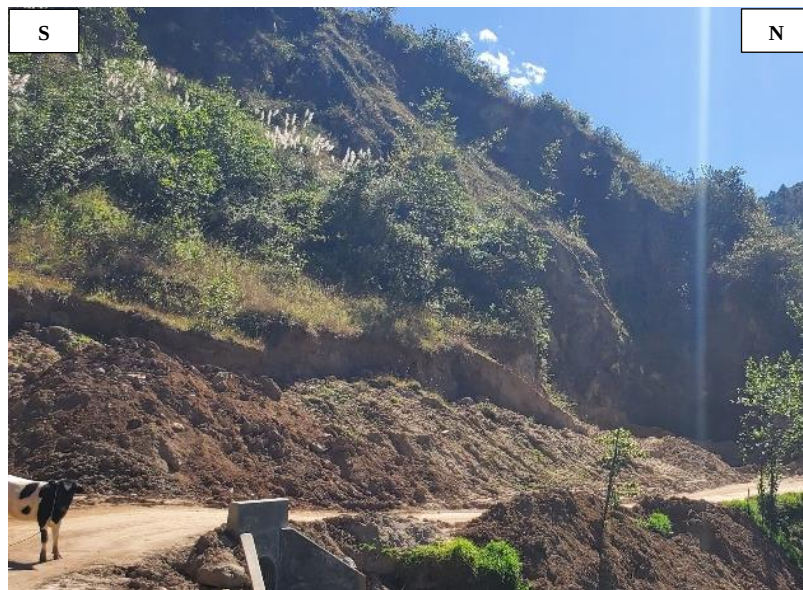
Son las unidades predominantes en el área de estudio y se caracterizan por estar cubiertas de vegetación como arbustos y pastizales (Fotografía 7).



Fotografía 7: Vista de una ladera en el Km 05+400

3.8.4 Escarpas

Estas unidades morfogenéticas suelen estar en menor proporción en el área de estudio, por lo general se encuentran cubiertas de vegetación endémica. (Fotografía 8)



Fotografía 8: Vista de una escarpa en el Km 06+200

3.9 GEOTECNIA

En la zona de la carretera San Miguel – El Empalme, tramo Km 1+550 – km 7+150 se recolectó la información geológica de 12 taludes de suelo que luego se analizaron mediante el software Slide V-6.0 para estimar los factores de seguridad.

Para ello se realizó el siguiente procedimiento:

1. Recopilación de la información geológica – geotécnica de los 12 taludes (Mecánica de suelos, muestreo de calicatas, ensayos de laboratorio, determinación del Peso Específico, la Cohesión y Ángulo de Fricción, descripción de las Estaciones Geotécnicas).
2. Dibujo de la geometría de los taludes en AutoCAD 2025 en formato DWG para exportar a Slide V6.0.
4. Importamos los contornos de los taludes preparados en AutoCAD 2025 en formato DWG a Slide V6.0.
5. Con los datos geológicos y geotécnicos recopilados y obtenidos de campo, los ingresamos en Slide V6.0 para obtener el factor de seguridad mediante el método de Morgenstern y Price por ser el más riguroso.

3.9.1 Mecánica de Suelos

La mecánica de suelos de la zona de estudio se realizó mediante la recopilación de datos de una investigación de campo a lo largo del tramo carretero prospectado.

Los datos del estudio de mecánica de suelos se tomaron del proyecto: "Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad del Camino Vecinal San Miguel-Santa Rosa-El Agrario-La Colpa Gordillos-El Empalme, En los Distritos San Miguel, Calquis, Catilluc, Llapa, Provincia de San Miguel-Cajamarca", donde se realizó la prospección de campo mediante la excavación de calicatas y ensayos de laboratorio para un tramo de 38.6 km, dentro de los cuales la zona de estudio comprende desde el Km 1+550 – km 7+150.

A. Muestreo de Calicatas

A través de trabajos de exploración mediante calicatas, se recolectaron muestras representativas en cantidades adecuadas, las cuales fueron sometidas a análisis en laboratorio. Con los datos obtenidos tanto en campo como en laboratorio, se llevaron a cabo tareas de gabinete para presentar los resultados del estudio en forma escrita y gráfica.

Las muestras extraídas de las calicatas fueron etiquetadas según: Su código, progresiva, ubicación. Posteriormente, se colocaron en sacos adecuadas para su transporte al laboratorio. La clasificación y selección de las muestras se realizó conforme al procedimiento establecido en la norma ASTM D-2488, “Práctica recomendada para la descripción de suelos”. Como resultado, se llevaron a cabo las siguientes excavaciones (Tabla 14):

Tabla 14: Relación de calicatas

CÓDIGO	PROGRESIVA	ESTE	NORTE
C1	01+600	737552.968	9226126.205
C2	01+800	737992.567	9226762.025
C3	02+500	738051.939	9227265.665
C4	03+000	738114.213	9227649.369
C5	03+500	738234.779	9228013.197
C6	04+000	738252.870	9228340.022
C7	04+500	738385.317	9228779.350
C8	05+000	738735.646	9229043.337
C9	05+500	739016.820	9229126.851
C10	06+000	738986.528	9229340.346
C11	06+500	739176.016	9229632.746
C12	07+000	739099.101	9229882.908

B. Ensayos de Laboratorio

Los ensayos de laboratorio se han realizado de acuerdo a las especificaciones establecidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), las cuales se encuentran en el Manual de Ensayos de Materiales (2016).

Para fines aplicativos de esta investigación utilizaremos los datos de: Análisis Granulométrico por Tamizado (MTC E 107), Clasificación SUCS y muestran en la siguiente en la Tabla 15.

Tabla 15: Granulometría y clasificación SUCS de las Calicatas

CÓDIGO	MALLA	%QUE PASA	GRANULOMETRÍA	
C1	Nº4	98.600	%GRAVA	0.000
	Nº10	95.800	%ARENA	45.400
	Nº40	88.200	%FINOS	54.600
	Nº200	54.600	SUCS	ML
C2	Nº4	98.600	%GRAVA	0.000
	Nº10	94.800	%ARENA	63.800
	Nº40	74.400	%FINOS	36.200
	Nº200	36.200	SUCS	SM
C3	Nº4	100.000	%GRAVA	0.000
	Nº10	100.000	%ARENA	80.600
	Nº40	77.000	%FINOS	19.400
	Nº200	19.400	SUCS	SM
C4	Nº4	100.000	%GRAVA	0.000
	Nº10	99.600	%ARENA	43.800
	Nº40	90.400	%FINOS	56.200
	Nº200	56.200	SUCS	ML
C5	Nº4	94.000	%GRAVA	3.800
	Nº10	88.200	%ARENA	65.200
	Nº40	78.600	%FINOS	31.000
	Nº200	31.000	SUCS	SC-SM
C6	Nº4	100.000	%GRAVA	0.000
	Nº10	96.400	%ARENA	49.400
	Nº40	84.200	%FINOS	50.600
	Nº200	50.600	SUCS	ML
C7	Nº4	100.000	%GRAVA	0.000
	Nº10	98.250	%ARENA	73.750
	Nº40	90.750	%FINOS	26.250
	Nº200	26.250	SUCS	SM
C8	Nº4	83.670	%GRAVA	16.000
	Nº10	83.330	%ARENA	15.000
	Nº40	81.670	%FINOS	69.000
	Nº200	69.000	SUCS	CL
C9	Nº4	88.830	%GRAVA	10.170
	Nº10	87.330	%ARENA	33.170
	Nº40	80.500	%FINOS	56.670
	Nº200	56.670	SUCS	ML
C10	Nº4	100.000	%GRAVA	0.000
	Nº10	99.800	%ARENA	19.400
	Nº40	98.800	%FINOS	80.600
	Nº200	80.600	SUCS	CL
C11	Nº4	100.000	%GRAVA	0.000
	Nº10	100.000	%ARENA	20.000
	Nº40	99.600	%FINOS	80.000
	Nº200	80.000	SUCS	ML
C12	Nº4	84.830	%GRAVA	14.670
	Nº10	84.330	%ARENA	15.830
	Nº40	83.670	%FINOS	69.500
	Nº200	69.500	SUCS	CL

C. Determinación del Peso Específico, la Cohesión y Ángulo de Fricción

Ante la ausencia de estos parámetros en el estudio de mecánica de suelos, se recurrió a las tablas propuestas por ITASCA (2021) para obtener los valores de peso específico, cohesión y ángulo de fricción (Ver Anexo A). De esta manera, se obtuvieron los datos correspondientes a los suelos de las calicatas, los cuales se presentan en la Tabla 16.

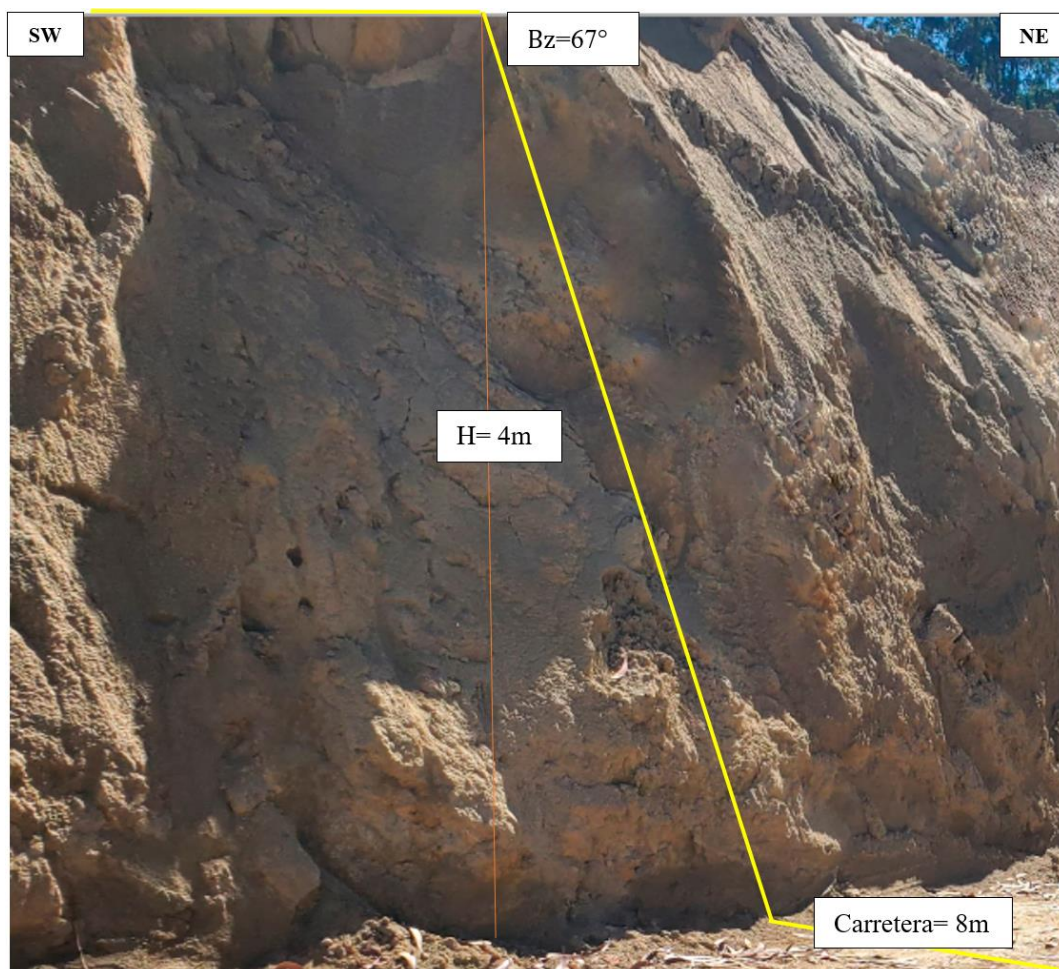
Tabla 16: Datos de Peso Específico, Cohesión y Ángulo de Fricción

CÓDIGO	SUCS	PESO ESPECÍFICO SECO (KN/m3)	PESO ESPECÍFICO SATURADO (KN/m3)	ÁNGULO DE FRICCIÓN	COHESIÓN (Kpa)
C1	ML	17.170	19.620	28.000	15.000
C2	SM	15.700	20.600	34.000	5.000
C3	SM	15.700	20.600	34.000	5.000
C4	ML	17.170	19.620	28.000	15.000
C5	SC-SM	15.790	20.600	32.000	10.000
C6	ML	17.170	19.620	28.000	15.000
C7	SM	15.700	20.600	34.000	5.000
C8	CL	18.639	23.544	24.000	25.000
C9	ML	17.170	19.620	28.000	15.000
C10	CL	18.639	23.544	24.000	25.000
C11	ML	17.170	19.620	28.000	15.000
C12	CL	18.639	23.544	24.000	25.000

3.9.2 Estaciones Geotécnicas

➤ Estación Geotécnica 01 (EG-01)

Esta estación se ubica al lado izquierdo de la carretera, a la altura de la progresiva 01+600. El talud presenta una altura aproximada de 4 metros y un buzamiento de 67°. El ancho de la vía en este sector es de 8 metros. Según los resultados obtenidos del estudio de mecánica de suelos, el material predominante corresponde a limos de baja plasticidad, clasificados como ML conforme al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).



Fotografía 9: Talud 01 en la progresiva 01+600

Tabla 17: Geometría y parámetros de entrada del Talud 01

Geometría del Talud 01	
Altura del Talud (m)	4
Buzamiento (°)	67 NW
Azimut (°)	315
Ancho de la Carretera (m)	8
Parámetros de Entrada para el Cálculo del FS	
Peso Específico (KN/m ³)	17.170
Peso Específico Saturado (KN/m ³)	19.620
Cohesión (Kpa)	15
Ángulo de Fricción (°)	28
Coeficiente Sísmico (Kh)	0.175

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Bishop para la EG-01**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Bishop:

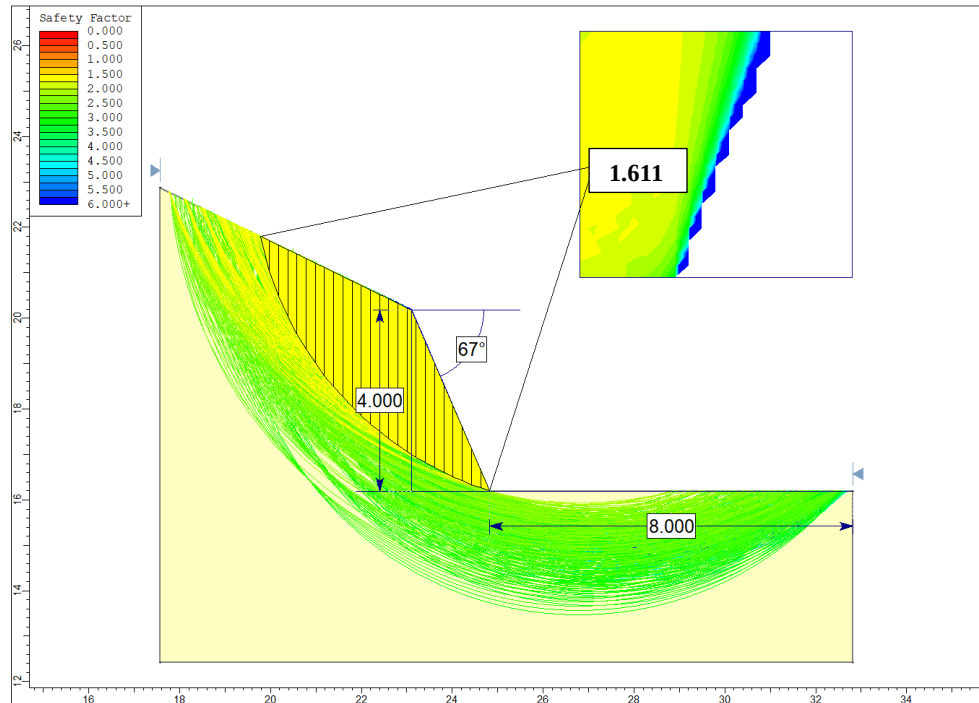


Figura 6: FS en Condiciones Estáticas – Método de Bishop/Talud-01

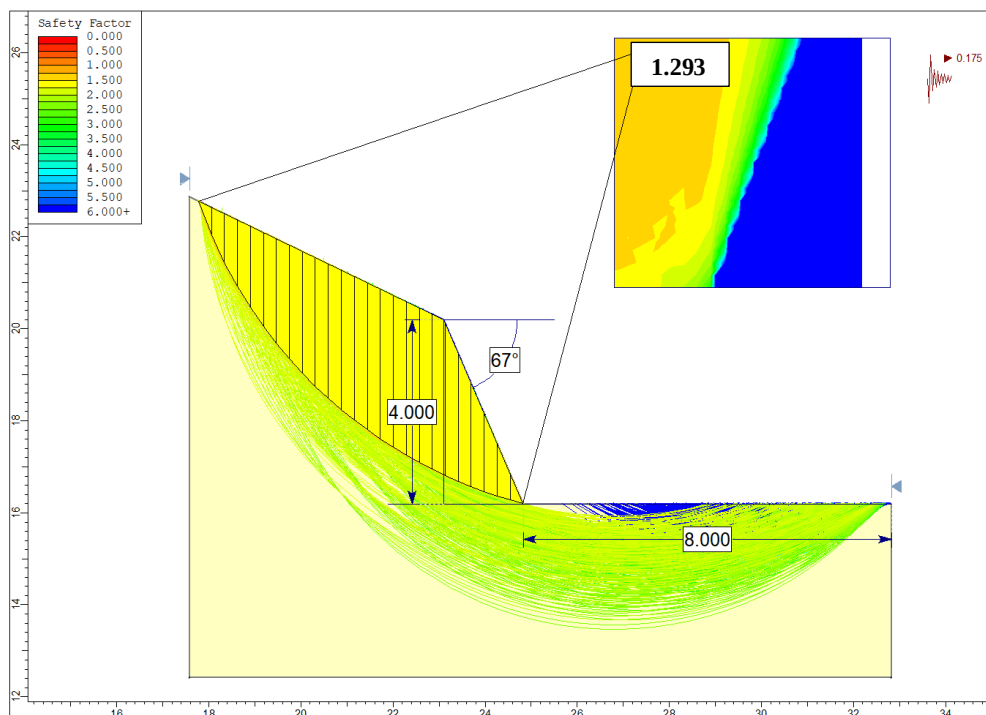


Figura 7: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Bishop/Talud 01

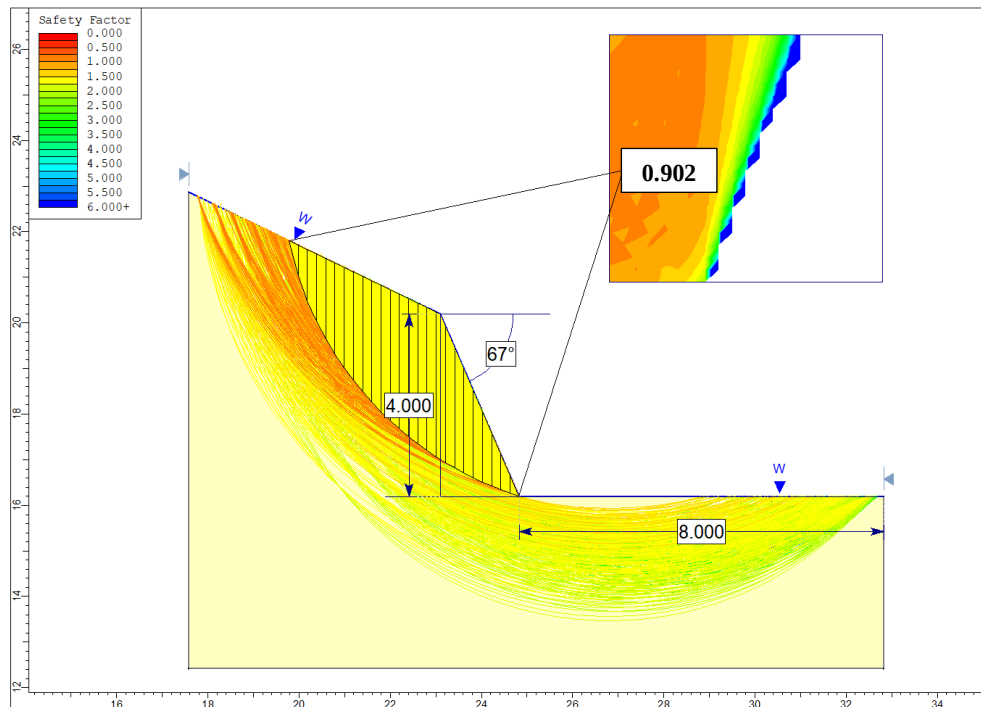


Figura 8: FS en Condiciones Saturadas – Método de Bishop/Talud 01

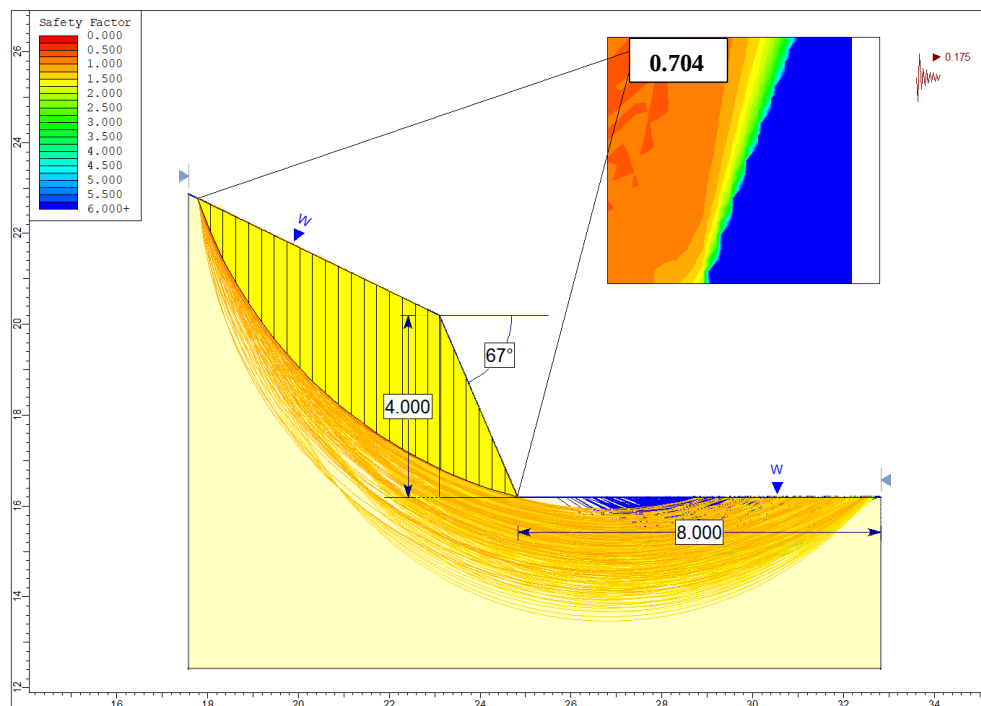


Figura 9: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Bishop/Talud 01

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Spencer para la EG-01**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Spencer:

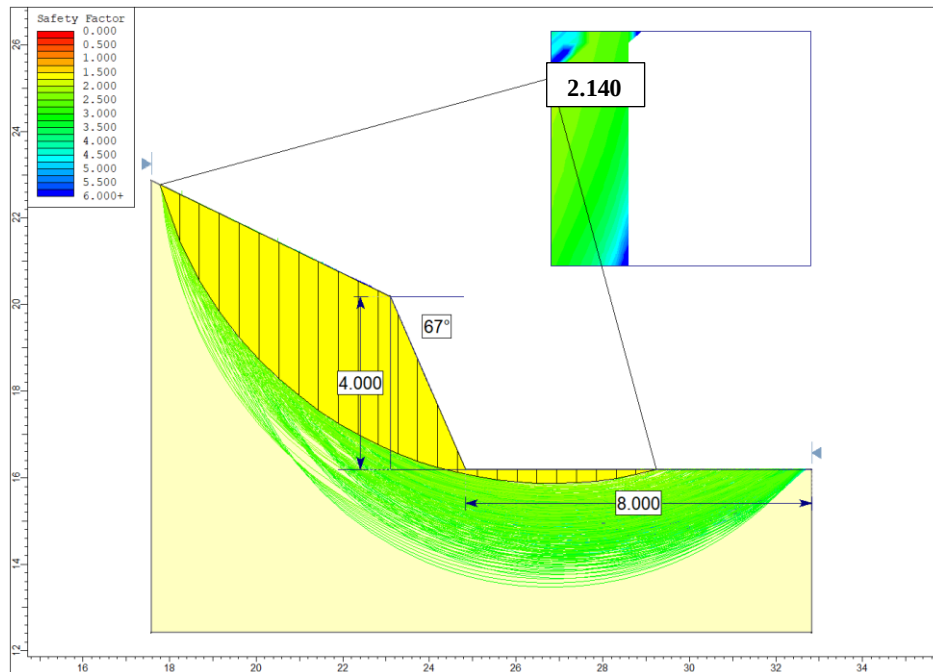


Figura 10: FS en Condiciones Estáticas – Método de Spencer/Talud 01

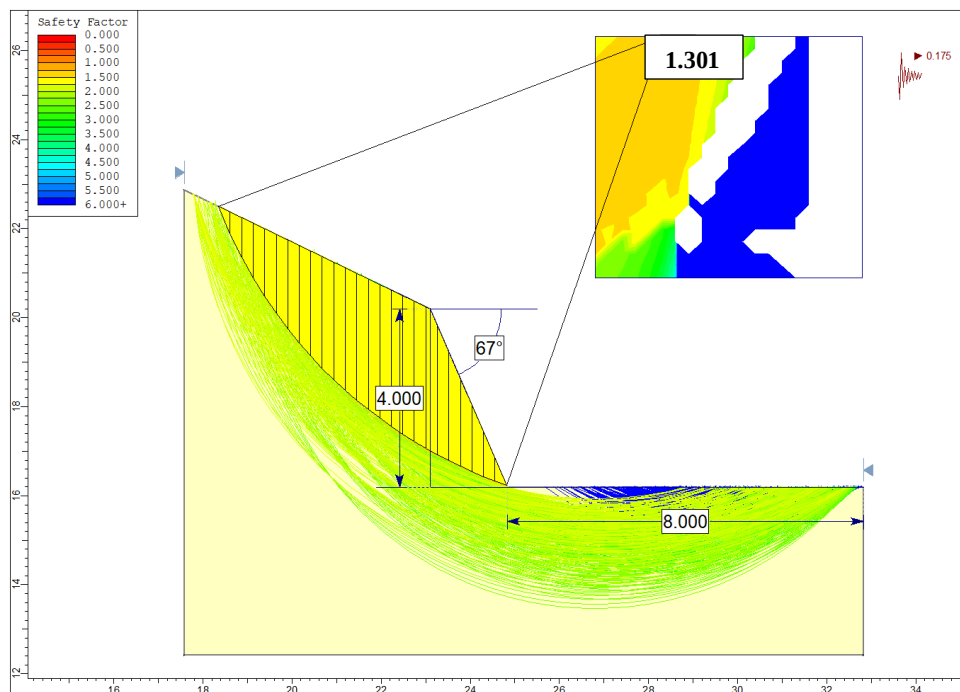


Figura 11: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Spencer /Talud 01

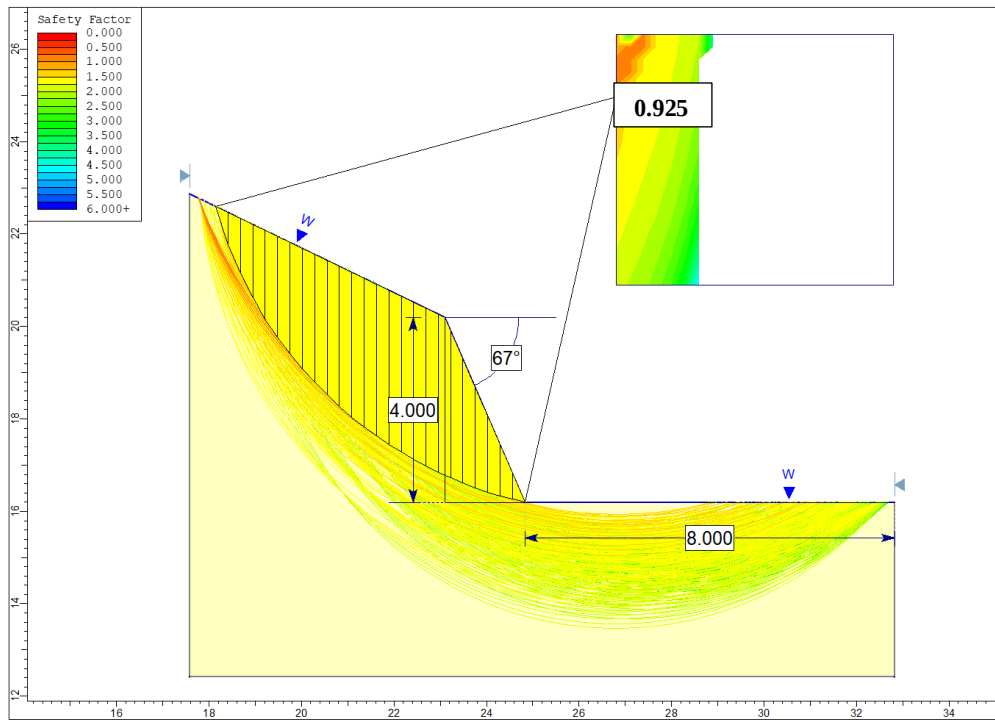


Figura 12: FS en Condiciones Saturadas – Método de Spencer /Talud 01

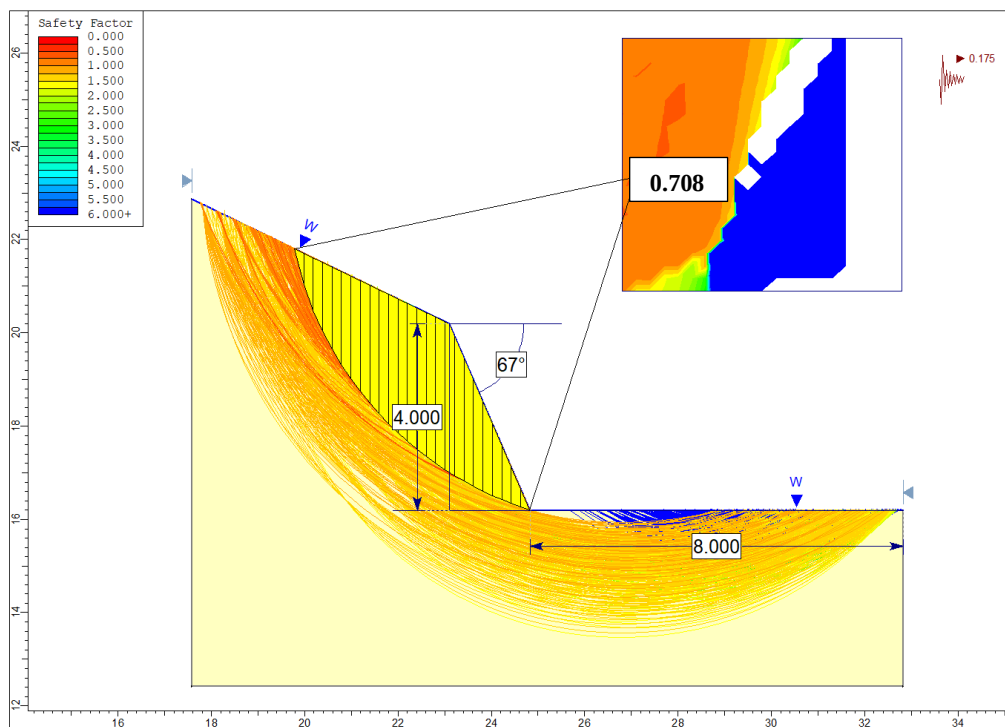


Figura 13: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Spencer /Talud 01

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Morgenstern-Price para la EG-01**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Morgenstern-Price:

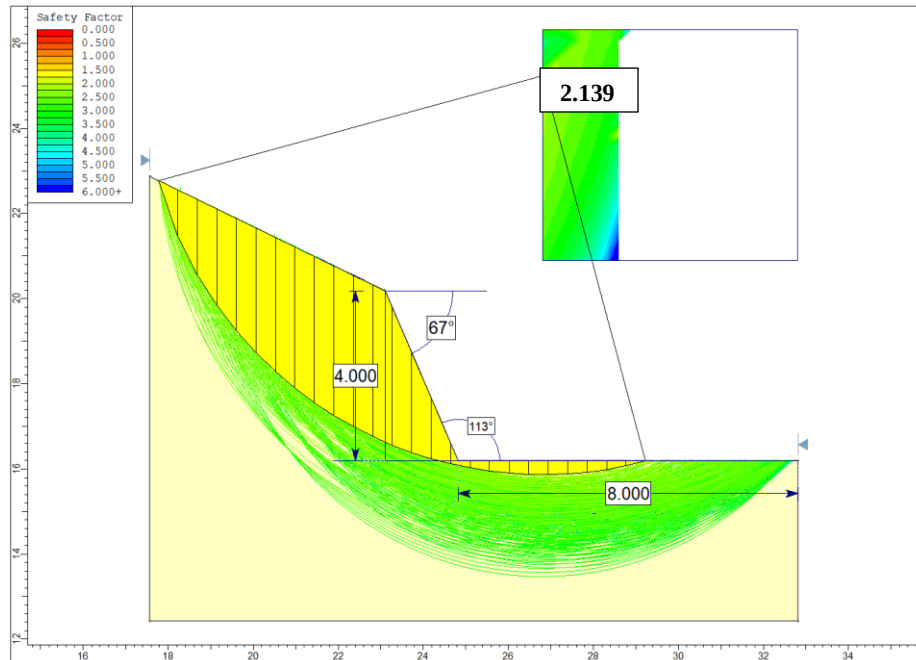


Figura 14: FS en Condiciones Estáticas – Método de Morgenstern-Price /Talud 01

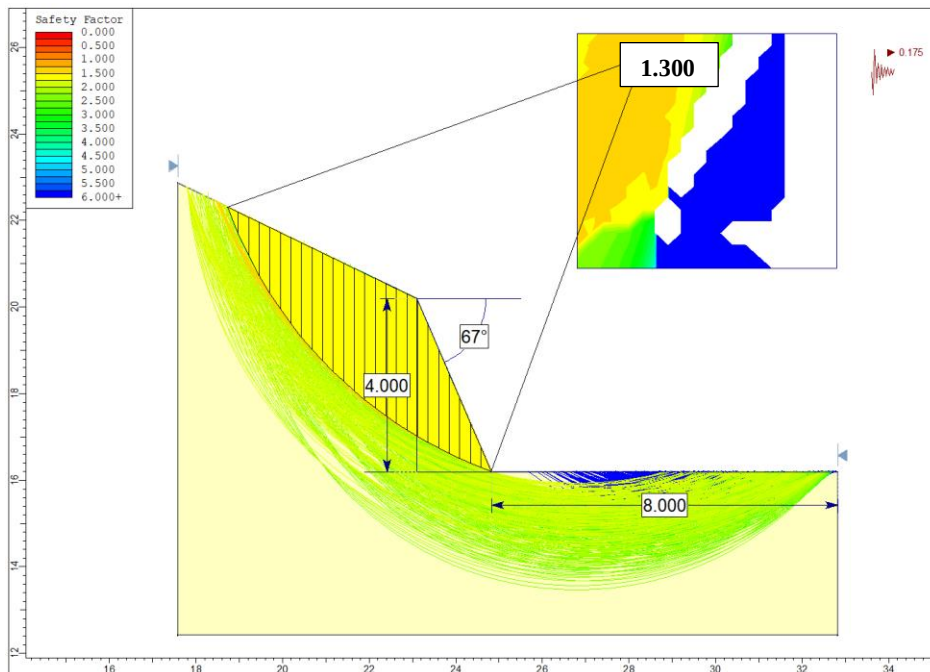


Figura 15: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Morgenstern-Price/Talud 01

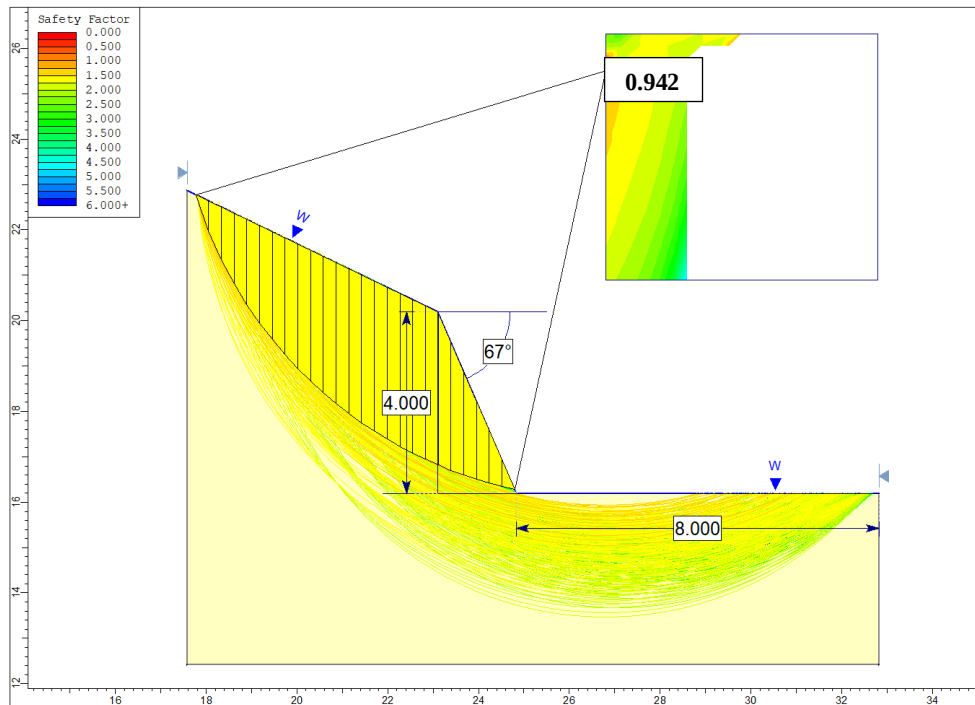


Figura 16: FS en Condiciones Saturadas – Método de Morgenstern-Price /Talud 01

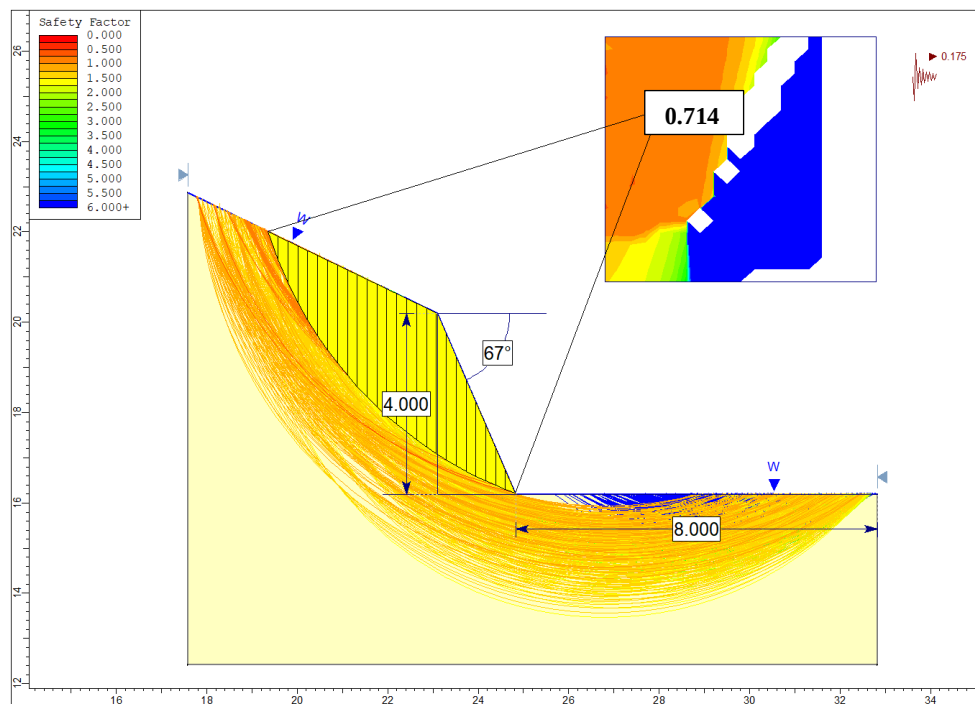
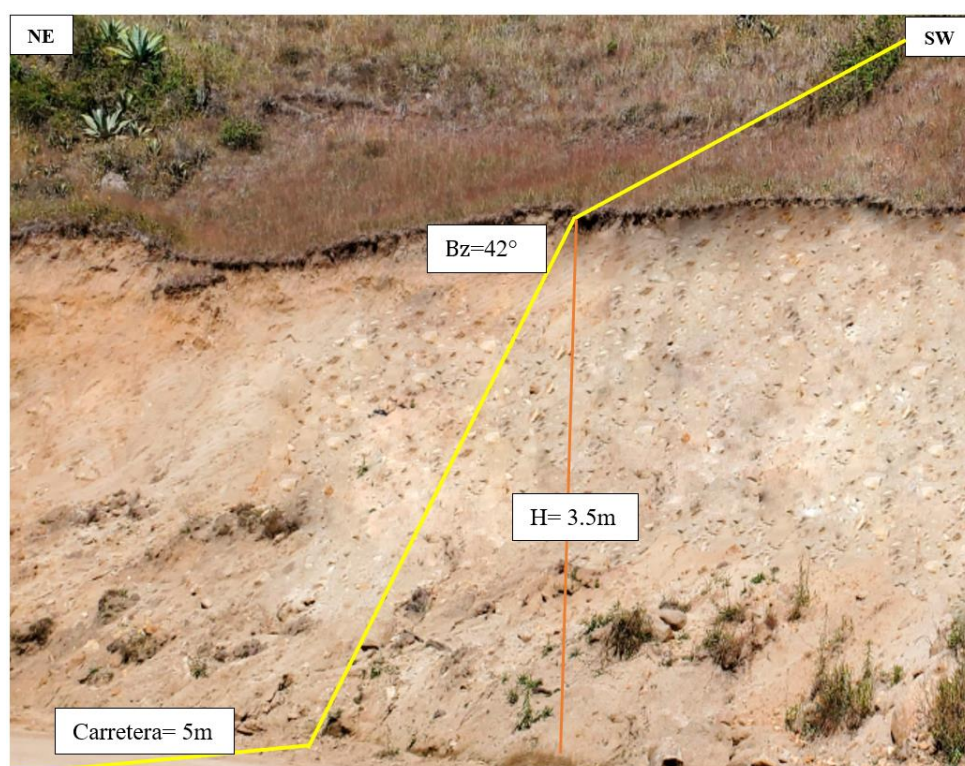


Figura 17: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Morgenstern-Price /Talud 01

➤ **Estación Geotécnica 02 (EG-02)**

La presente estación se localiza al margen derecho de la carretera, correspondiente a la progresiva 01+800. El talud posee una altura aproximada de 3.5 metros, con una inclinación de 42°. En este tramo, la plataforma vial tiene un ancho de 5 metros. Según los ensayos realizados en el estudio de mecánica de suelos, el material predominante corresponde a arenas limosas, compuestas por una combinación de arena y limo, clasificadas como SM conforme al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).



Fotografía 10: Talud 02 en la progresiva 01+800

Tabla 18: Geometría y parámetros de entrada del Talud 02

Geometría del Talud 02	
Altura del Talud (m)	3.5
Buzamiento (°)	42 NE
Azimut (°)	50
Ancho de la Carretera (m)	5
Parámetros de Entrada para el Cálculo del FS	
Peso Específico (KN/m ³)	15.700
Peso Específico Saturado (KN/m ³)	20.600
Cohesión (Kpa)	05
Ángulo de Fricción (°)	34
Coeficiente Sísmico (Kh)	0.175

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Bishop para la EG-02**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Bishop:

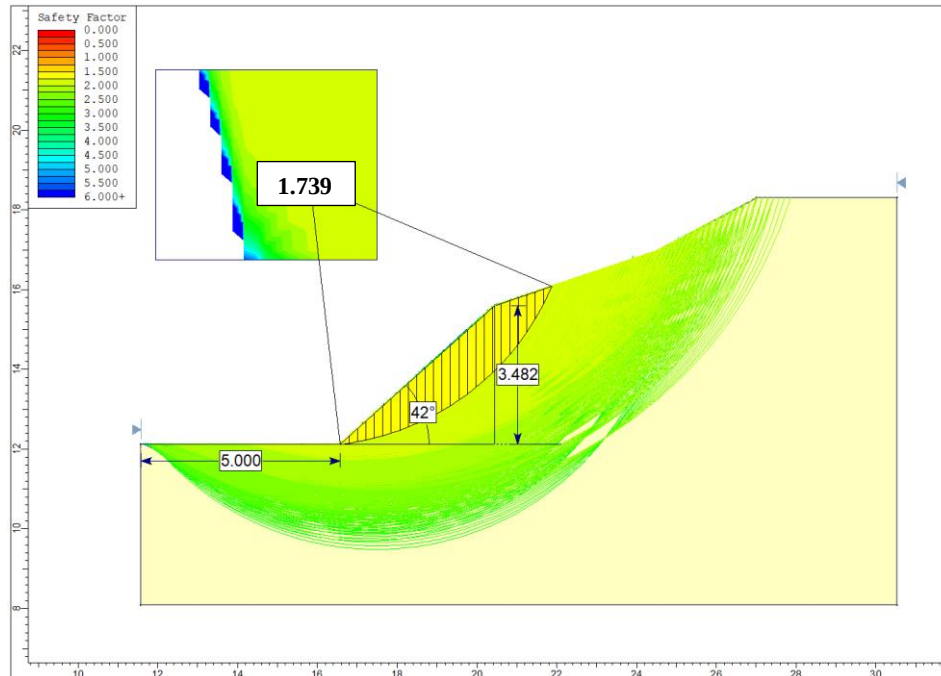


Figura 18: FS en Condiciones Estáticas – Método de Bishop/Talud 02

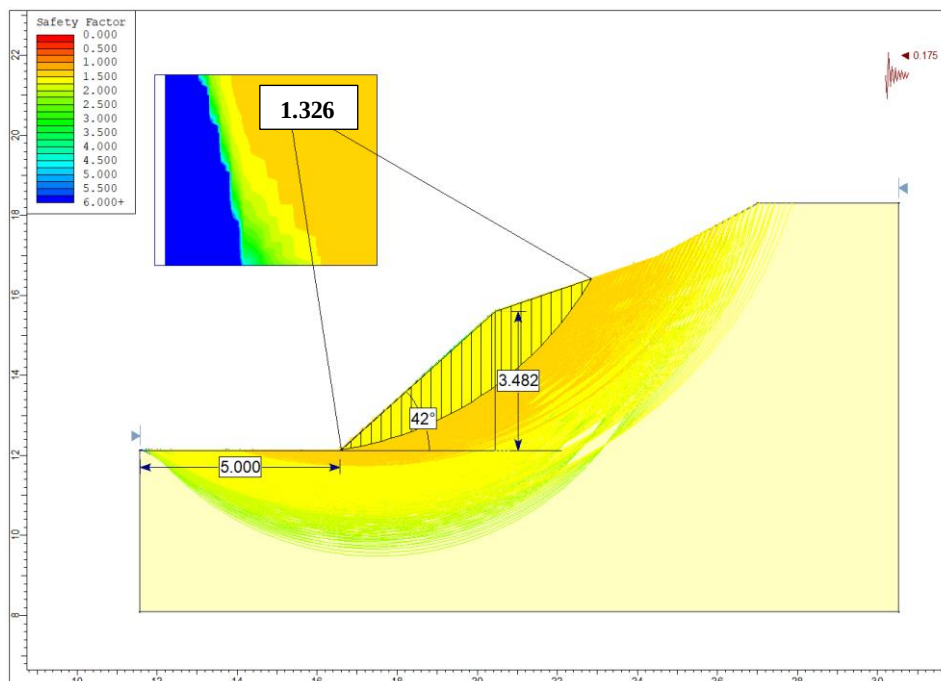


Figura 19: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Bishop/Talud 02

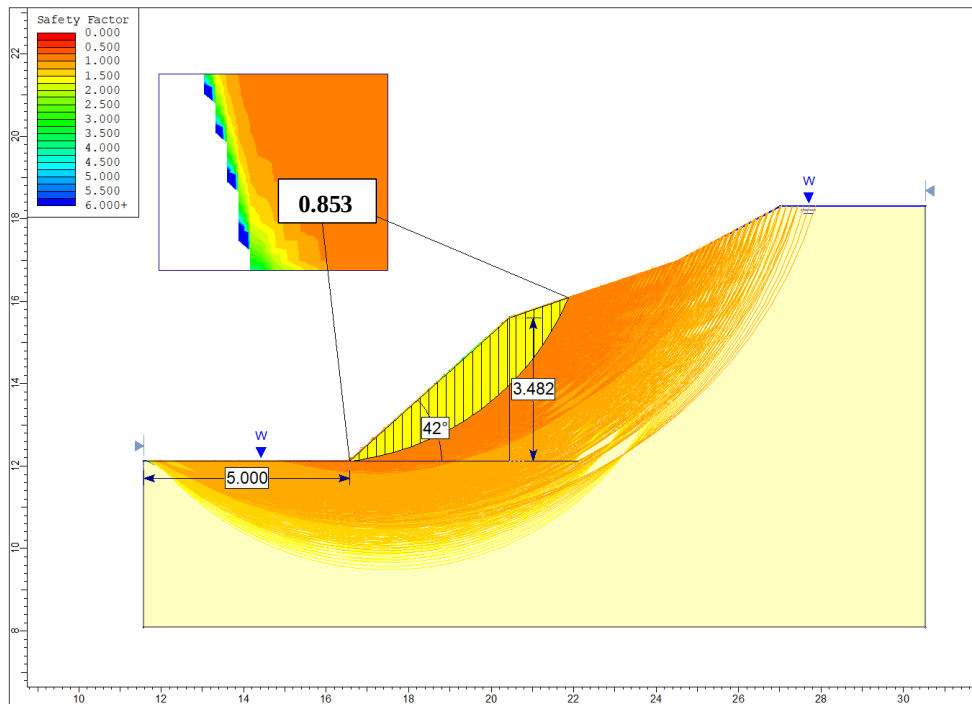


Figura 20: FS en Condiciones Saturadas – Método de Bishop/Talud 02

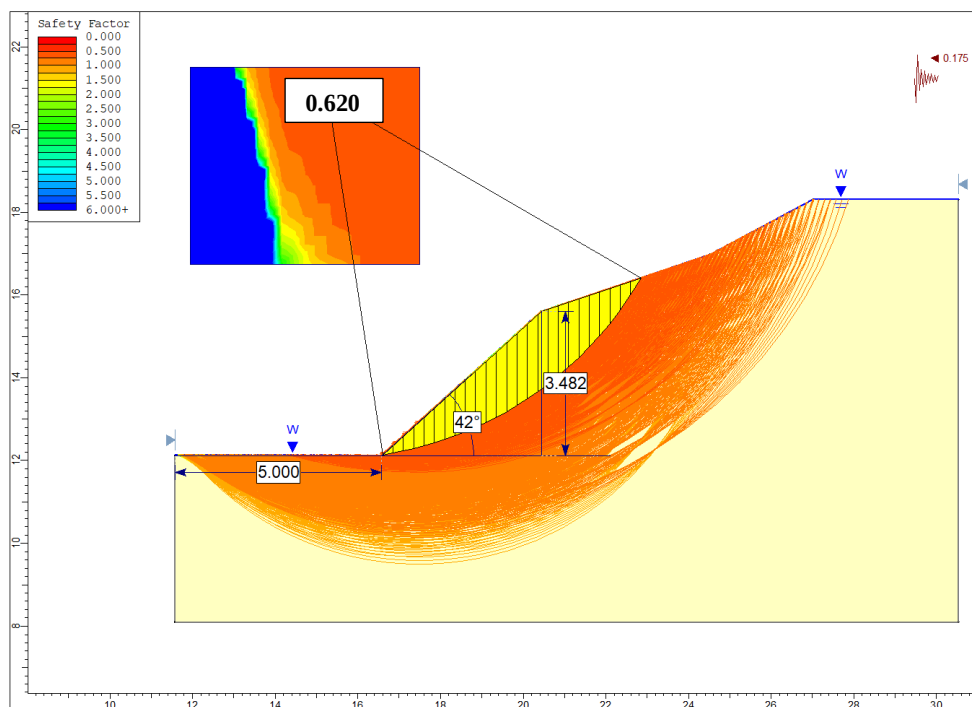


Figura 21: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Bishop/Talud 02

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Spencer para la EG-02**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Spencer:

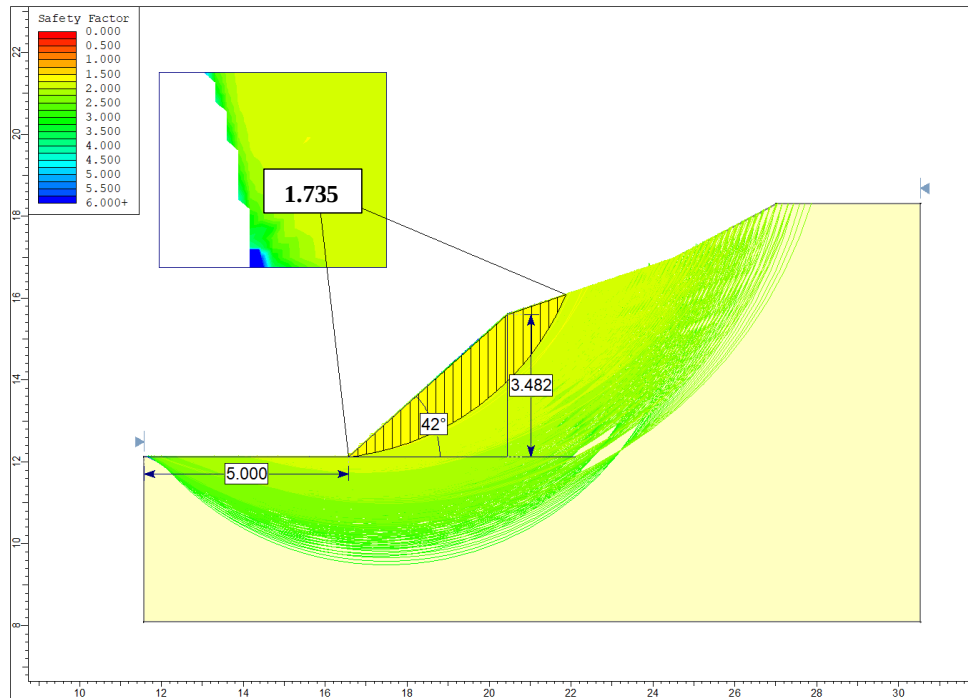


Figura 22: FS en Condiciones Estáticas – Método de Spencer/Talud 02

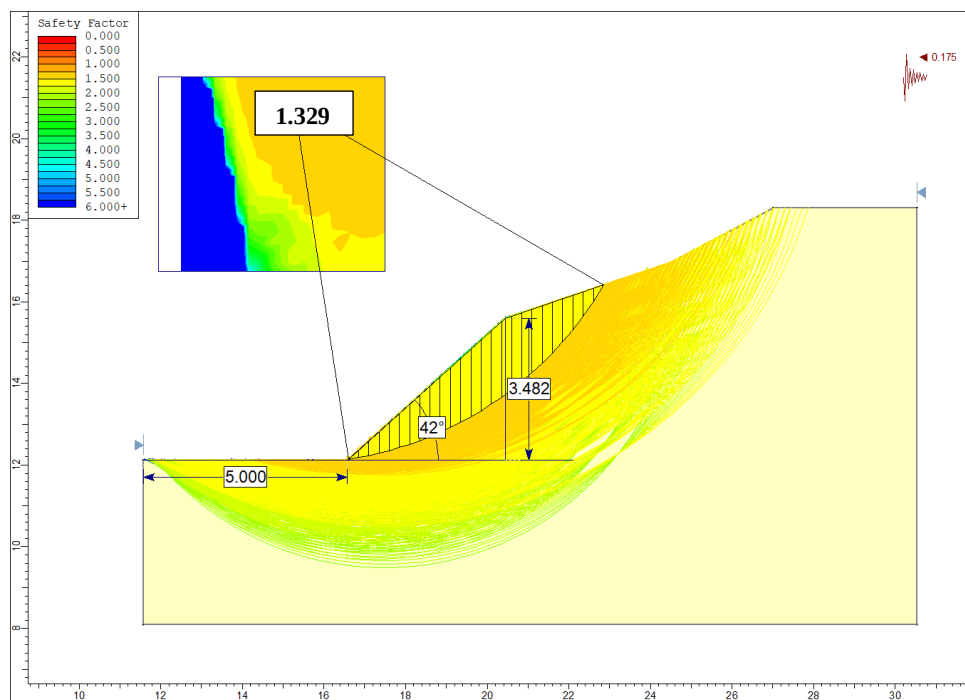


Figura 23: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Spencer/Talud 02

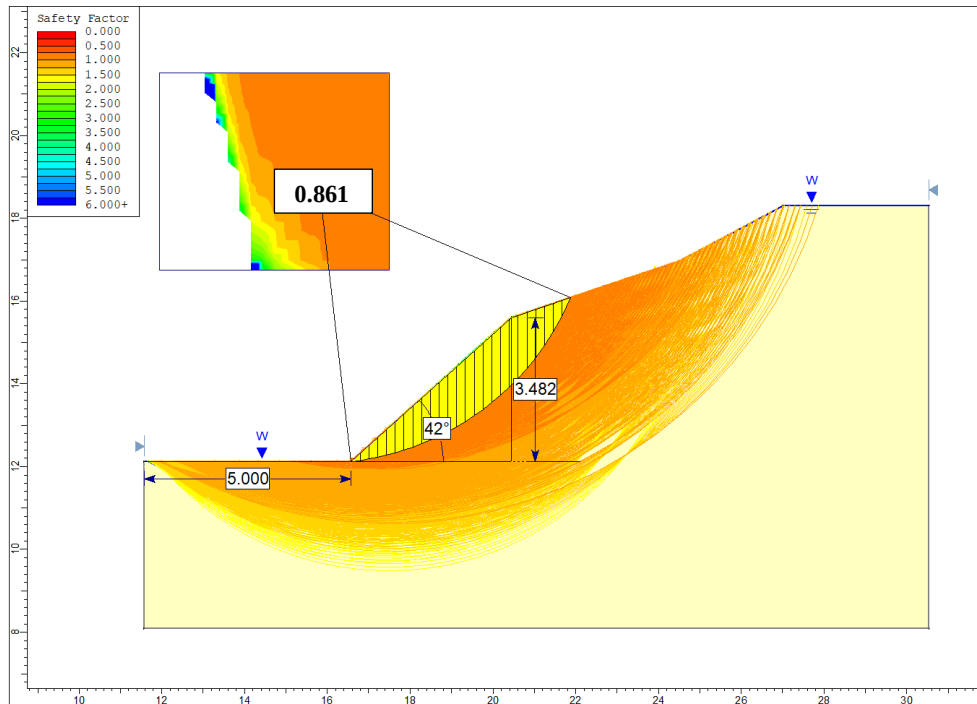


Figura 24: FS en Condiciones Saturadas – Método de Spencer /Talud 02

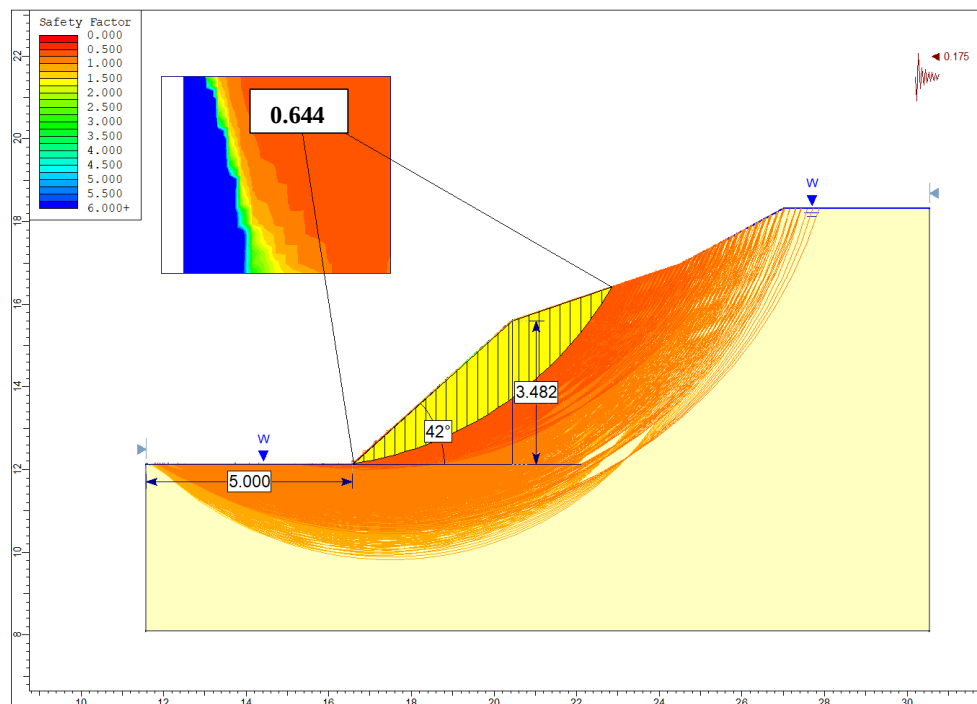


Figura 25: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Spencer /Talud 02

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Morgenstern-Price para la EG-02**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Morgenstern-Price:

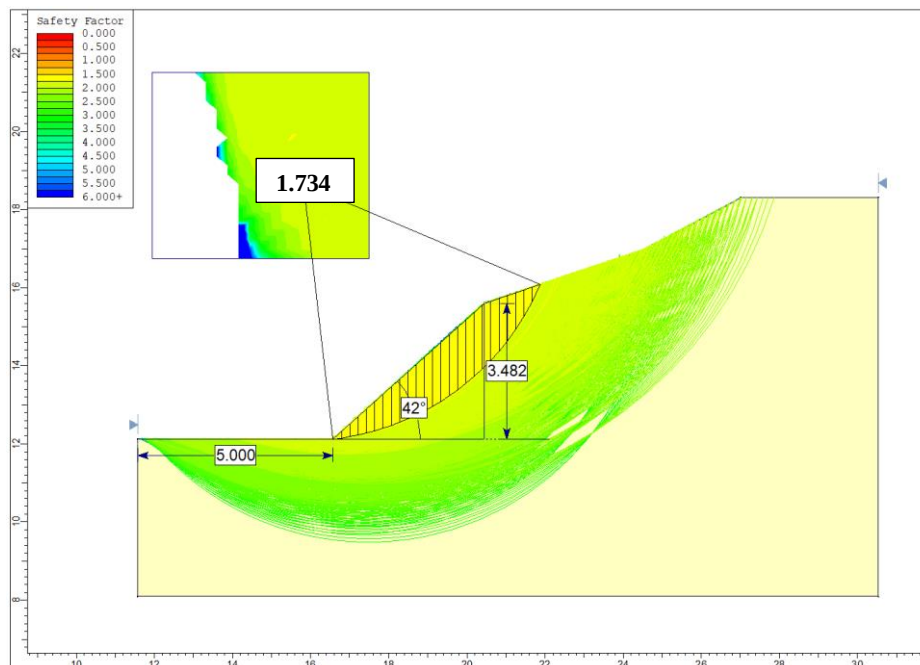


Figura 26: FS en Condiciones Estáticas – Método de Morgenstern-Price /Talud 02

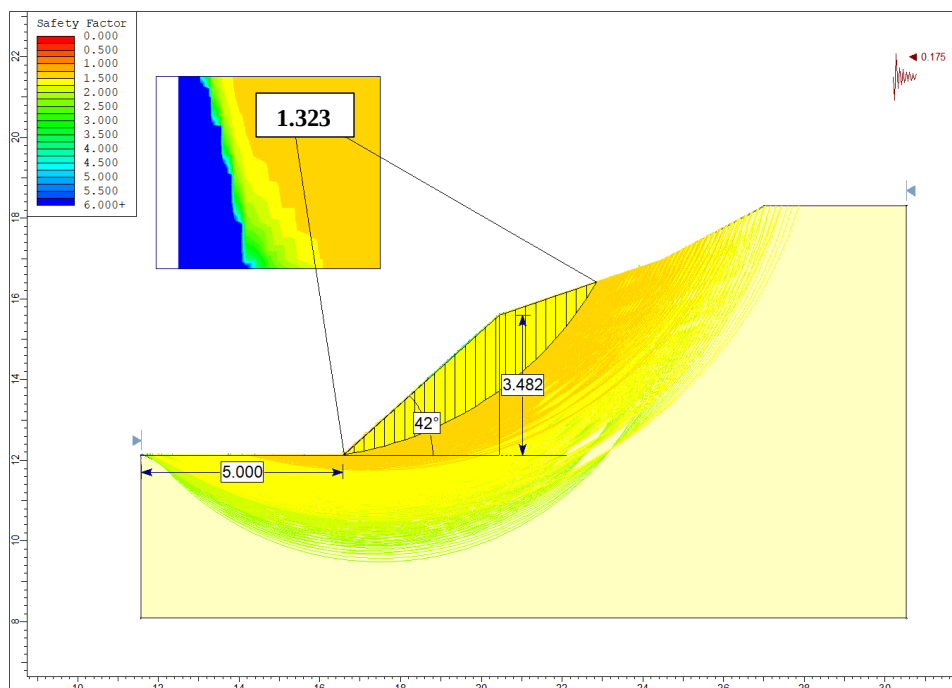


Figura 27: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Morgenstern-Price/Talud 02

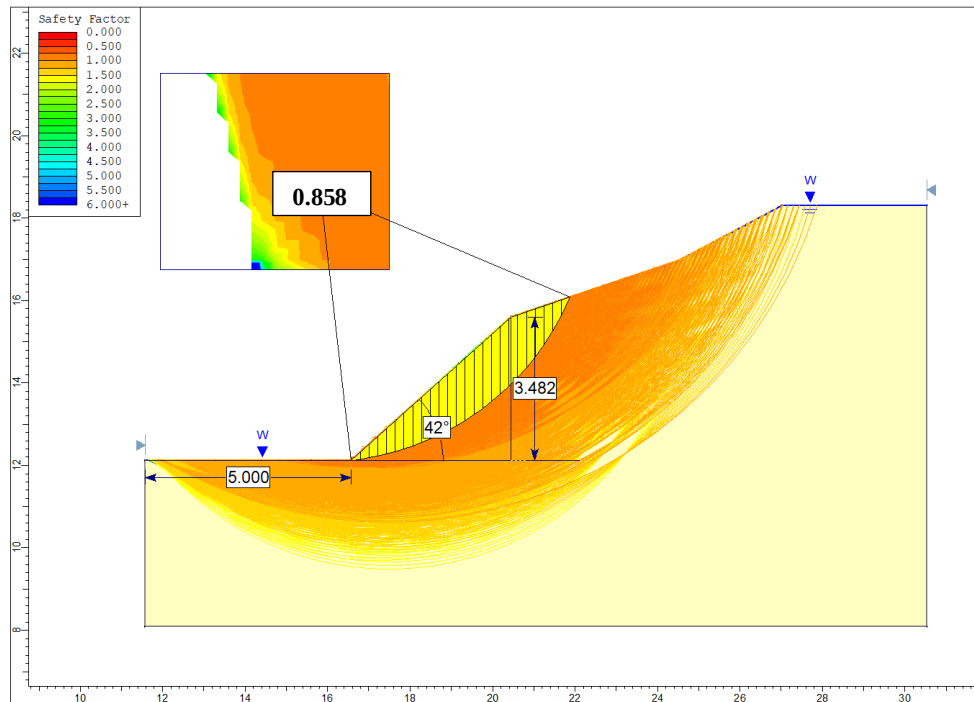


Figura 28: FS en Condiciones Saturadas – Método de Morgenstern-Price /Talud 02

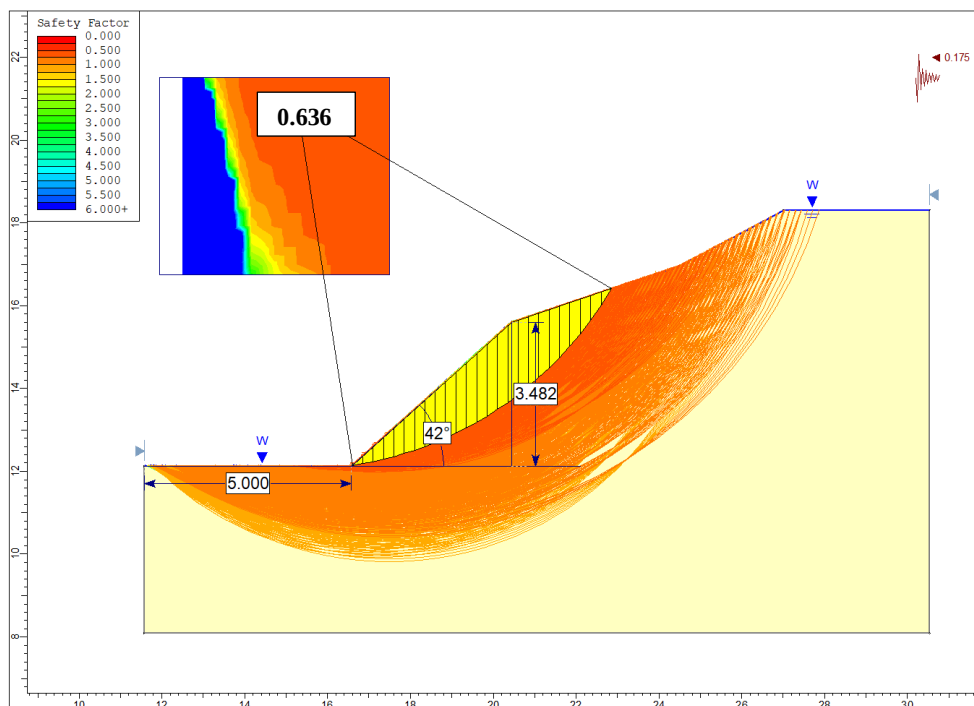
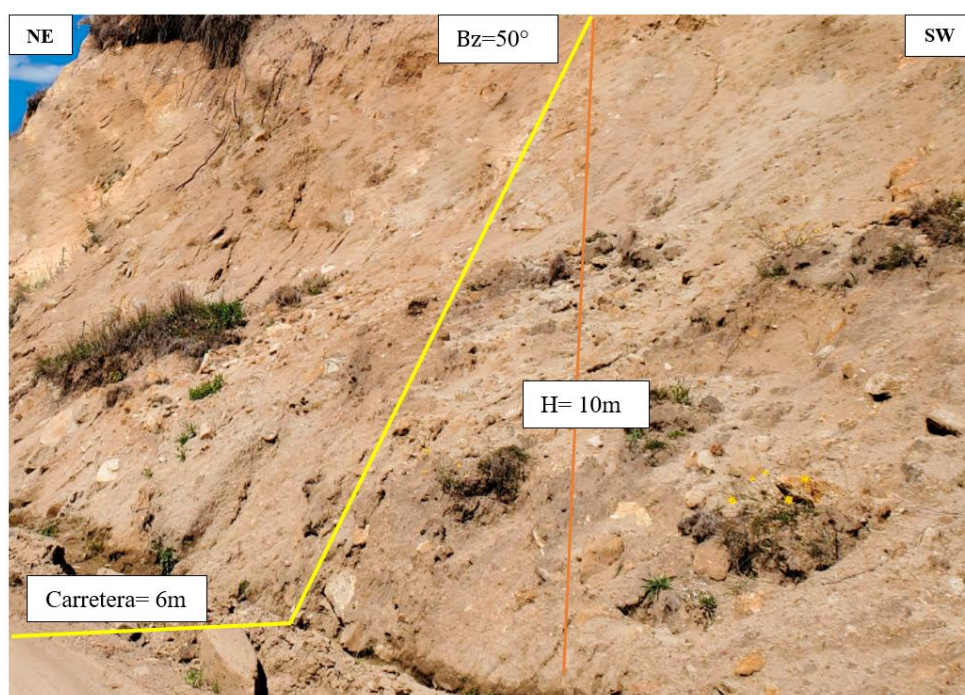


Figura 29: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Morgenstern-Price /Talud 02

➤ **Estación Geotécnica 03 (EG-03)**

El talud evaluado se sitúa al margen izquierdo de la vía, a la altura de la progresiva 02+500. Este talud alcanza una altura aproximada de 10 metros y presenta un ángulo de inclinación de 50°. La carretera, en este sector, cuenta con un ancho de calzada de 6 metros. A partir del estudio de mecánica de suelos, se identificó que el terreno está conformado por arenas limosas, constituidas por una mezcla de partículas de arena y limo. De acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), este material corresponde a la clase SM.



Fotografía 11: Talud 03 en la progresiva 02+500

Tabla 19: Geometría y parámetros de entrada del Talud 03

Geometría del Talud 03	
Altura del Talud (m)	10
Buzamiento (°)	50 NE
Azimut (°)	347
Ancho de la Carretera (m)	6
Parámetros de Entrada para el Cálculo del FS	
Peso Específico (KN/m ³)	15.700
Peso Específico Saturado (KN/m ³)	20.600
Cohesión (Kpa)	5
Ángulo de Fricción (°)	34
Coefficiente Sísmico (Kh)	0.262

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Bishop para la EG-03**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Bishop:

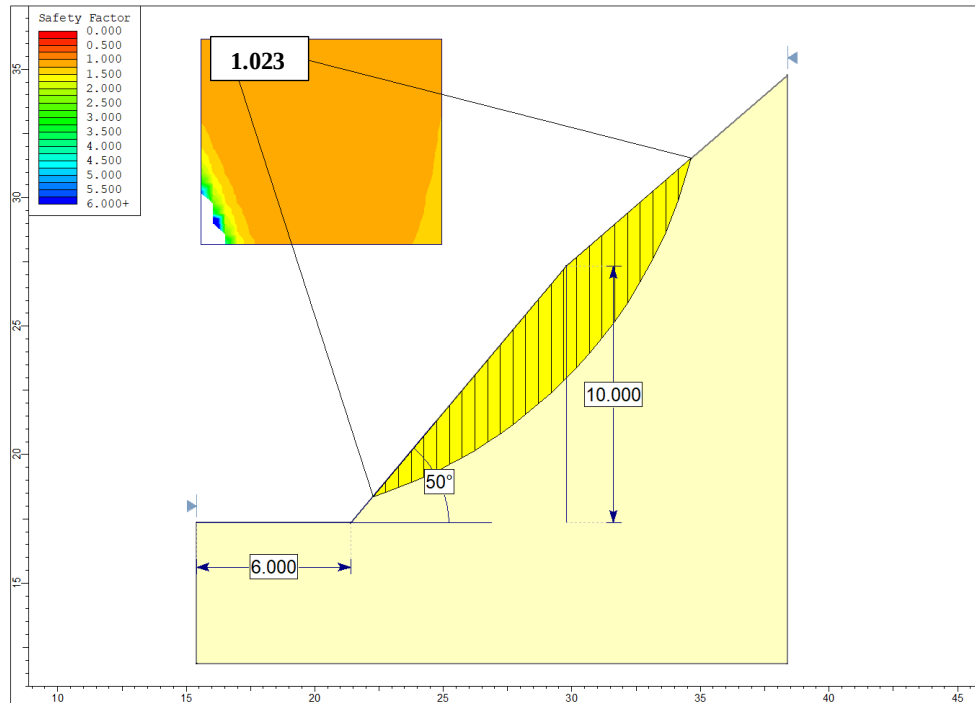


Figura 30: FS en Condiciones Estáticas – Método de Bishop/Talud 03

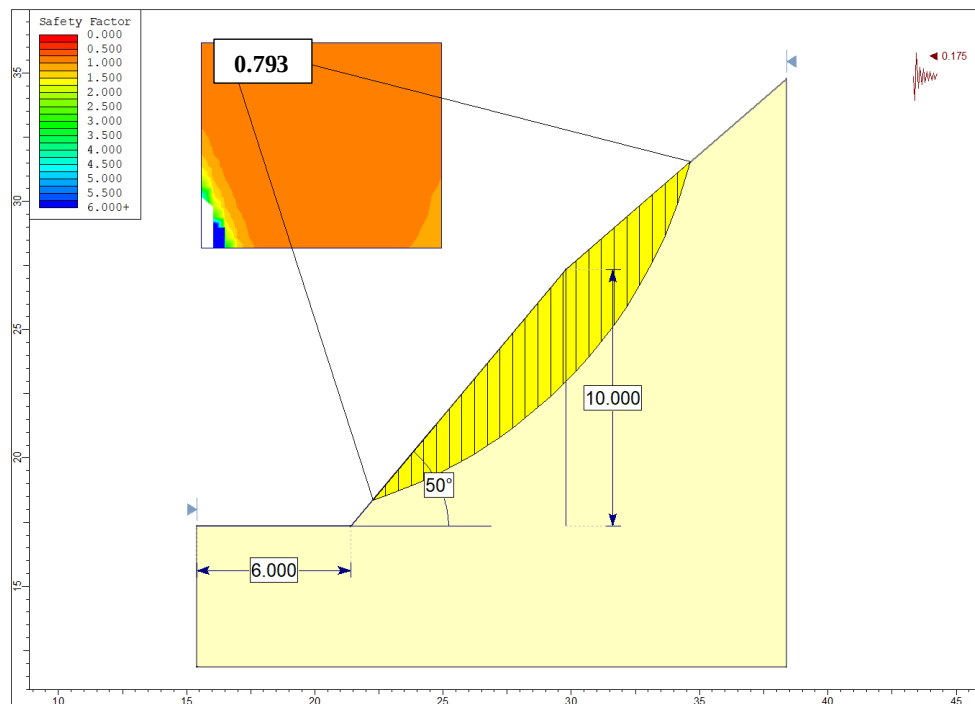


Figura 31: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Bishop/Talud 03

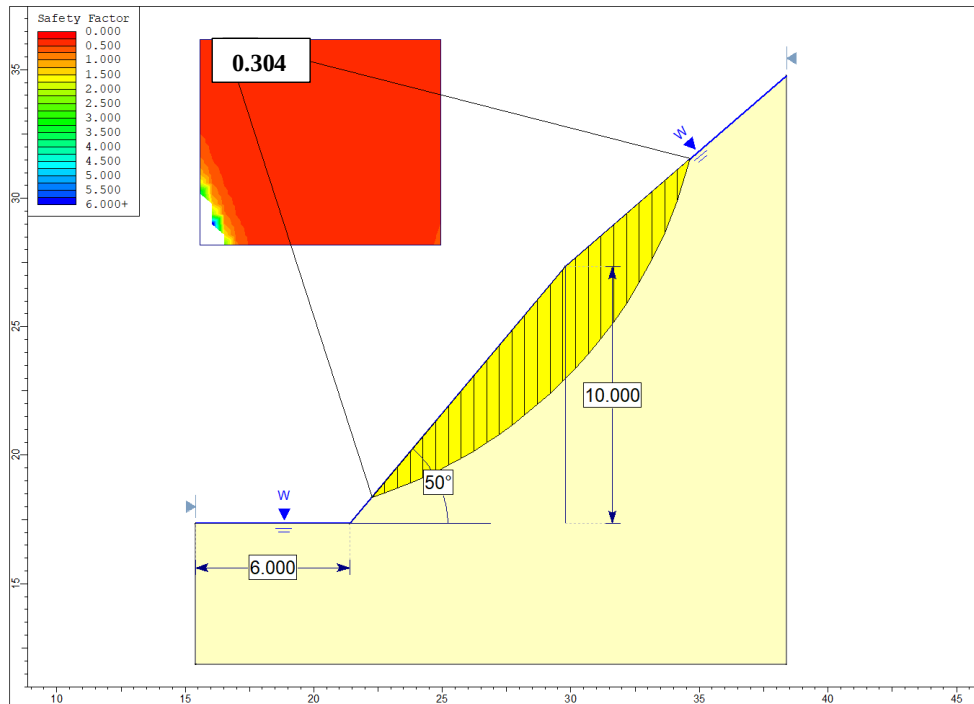


Figura 32: FS en Condiciones Saturadas – Método de Bishop/Talud 03

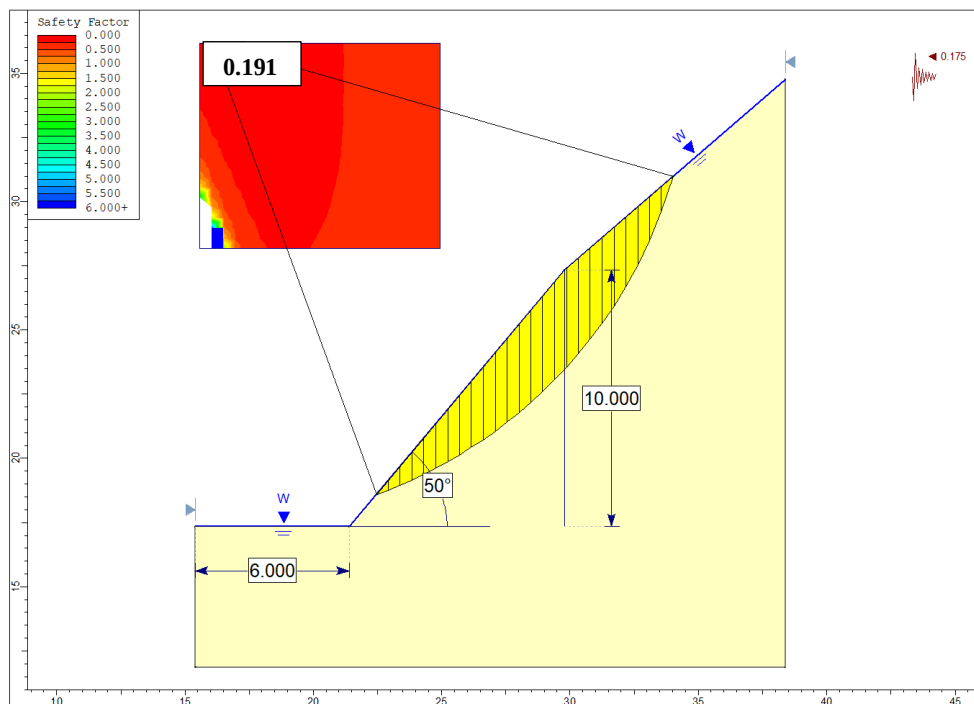


Figura 33: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Bishop/Talud 03

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Spencer para la EG-03**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Spencer:

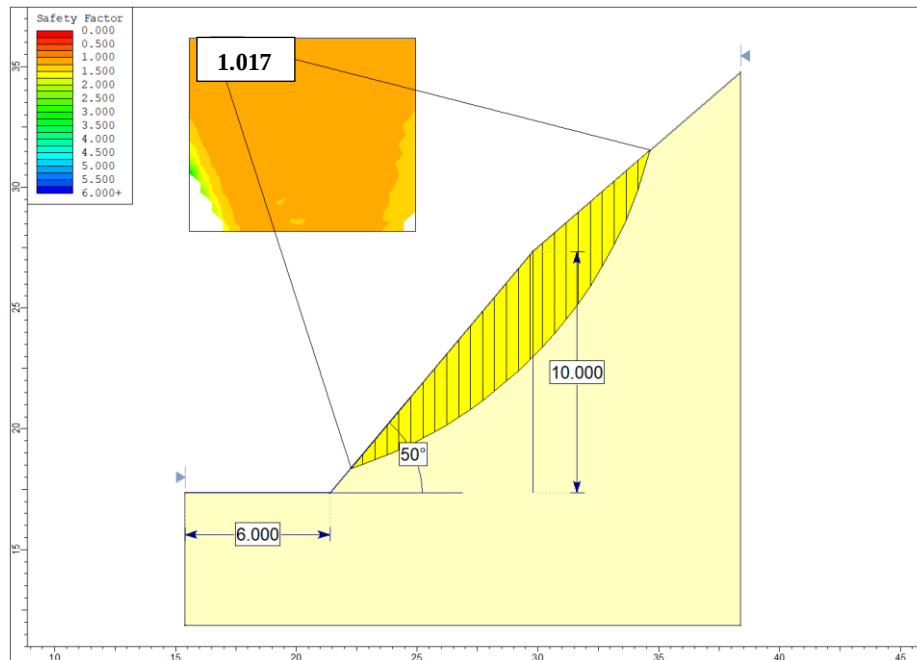


Figura 34: FS en Condiciones Estáticas – Método de Spencer/Talud 03

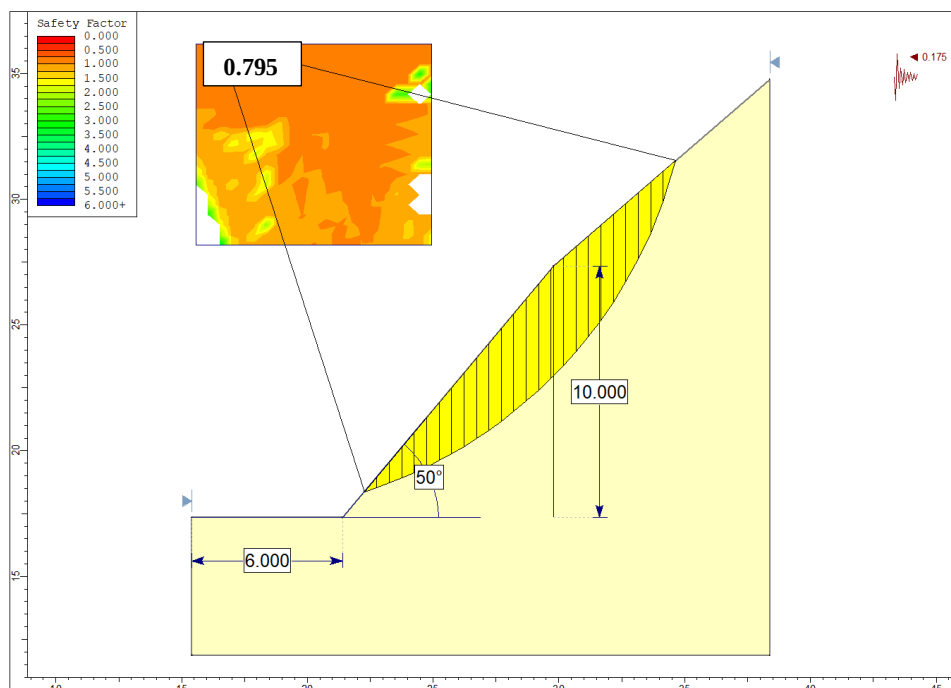


Figura 35: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Spencer/Talud 03

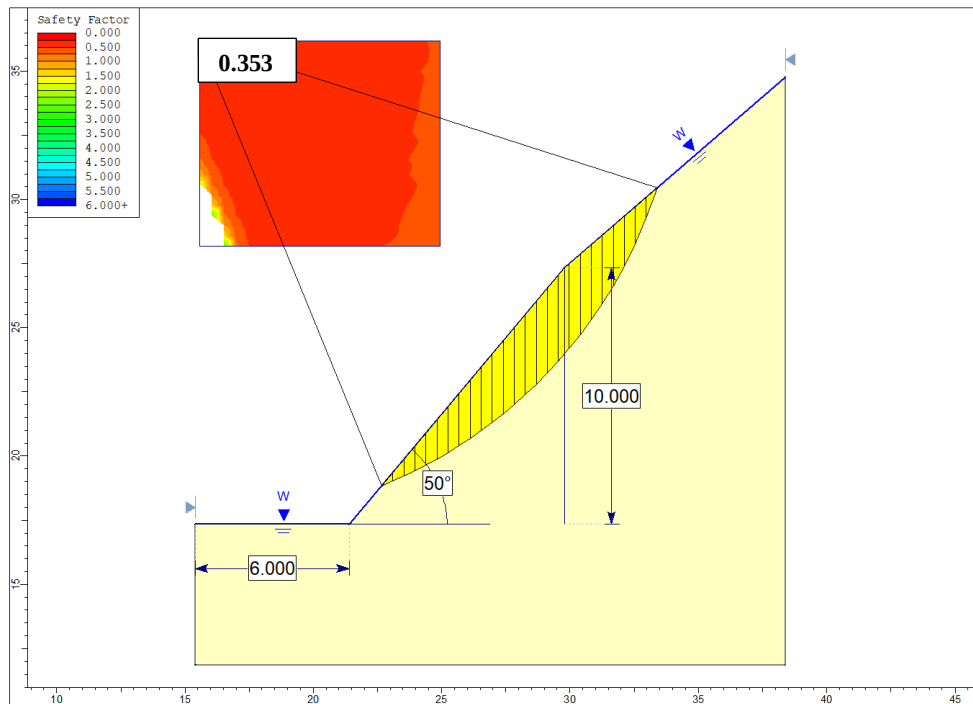


Figura 36: FS en Condiciones Saturadas – Método de Spencer /Talud 03

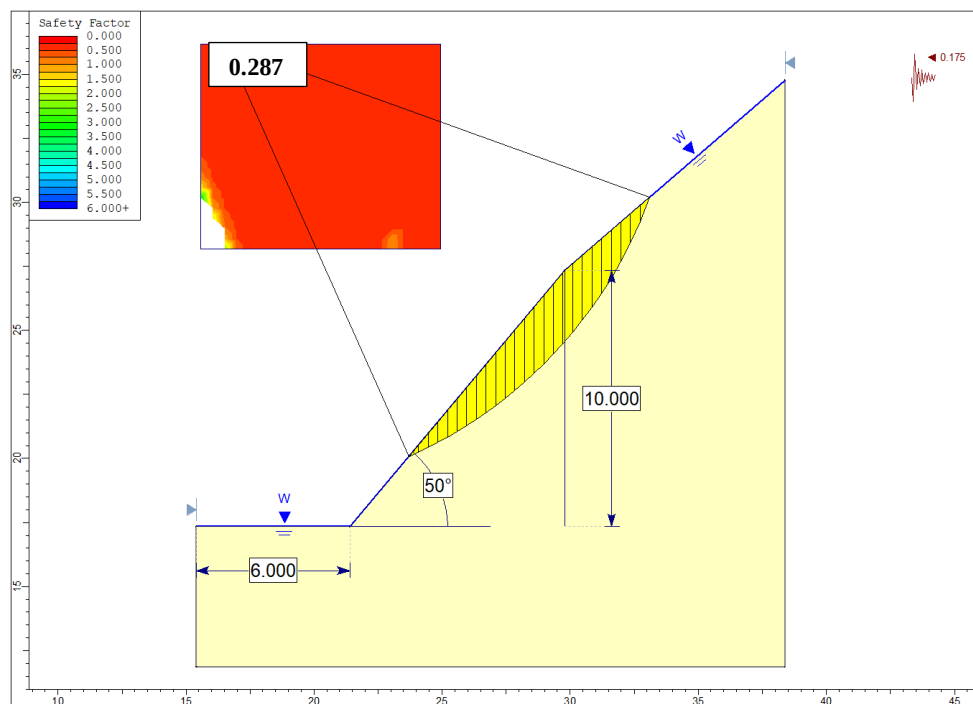


Figura 37: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Spencer /Talud 03

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Morgenstern-Price para la EG-03**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Morgenstern-Price:

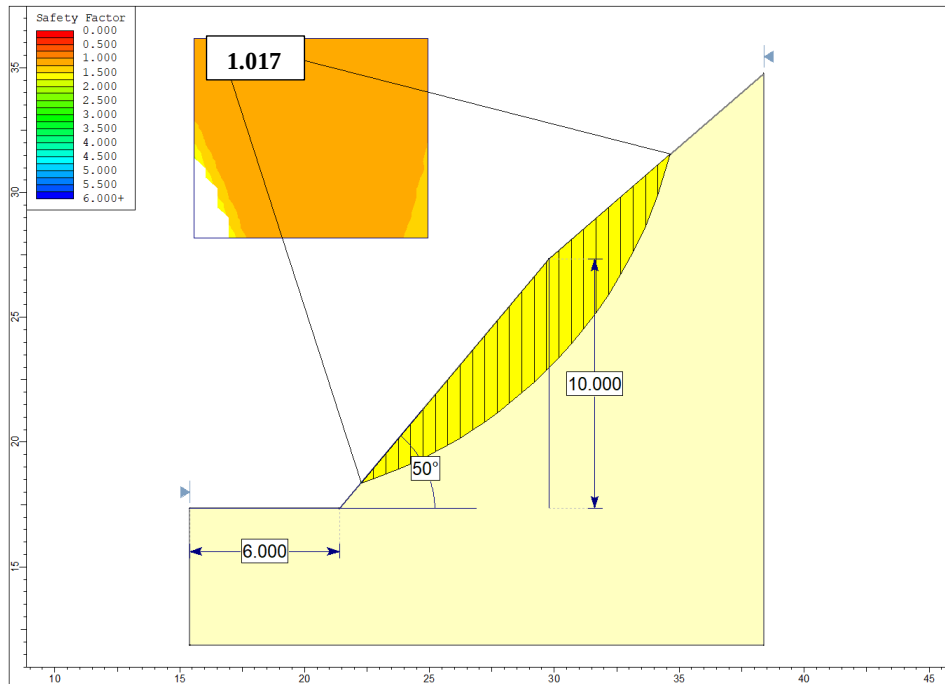


Figura 38: FS en Condiciones Estáticas – Método de Morgenstern-Price /Talud 03

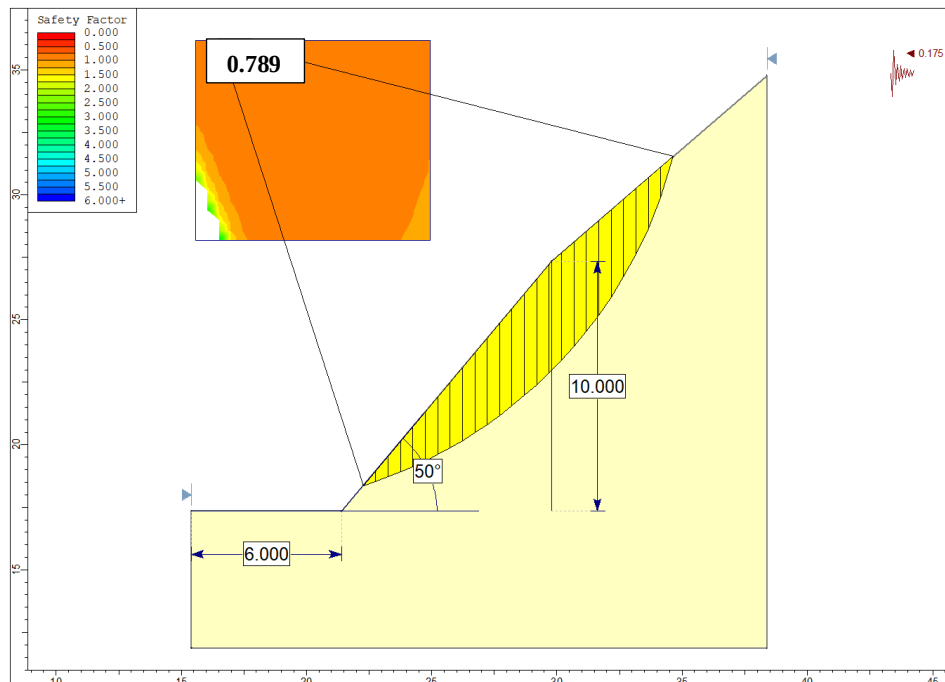


Figura 39: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Morgenstern-Price/Talud 03

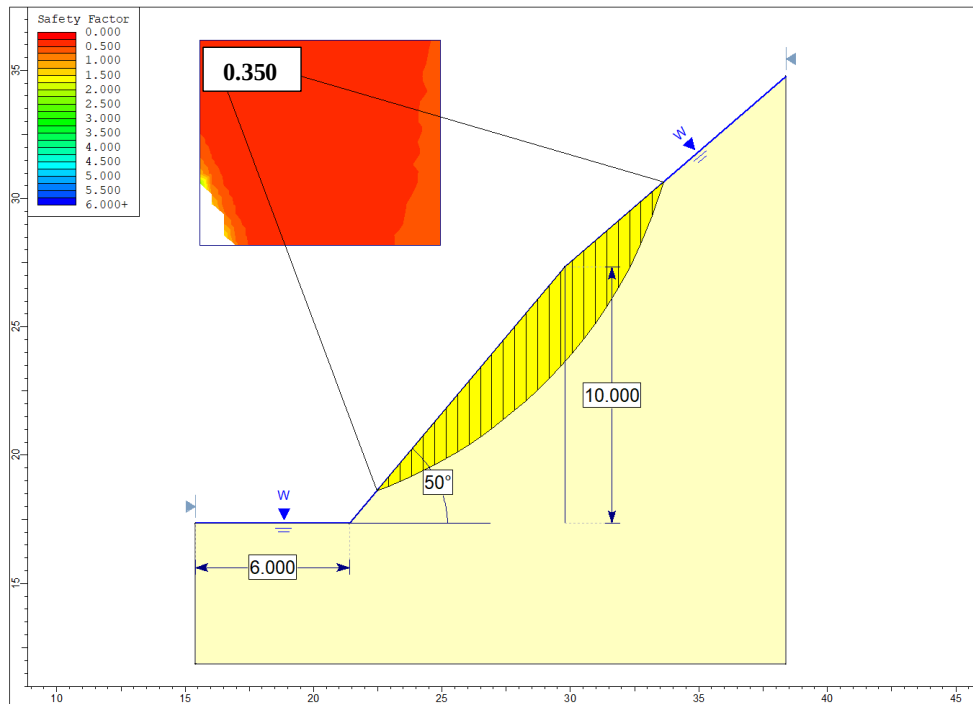


Figura 40: FS en Condiciones Saturadas – Método de Morgenstern-Price /Talud 03

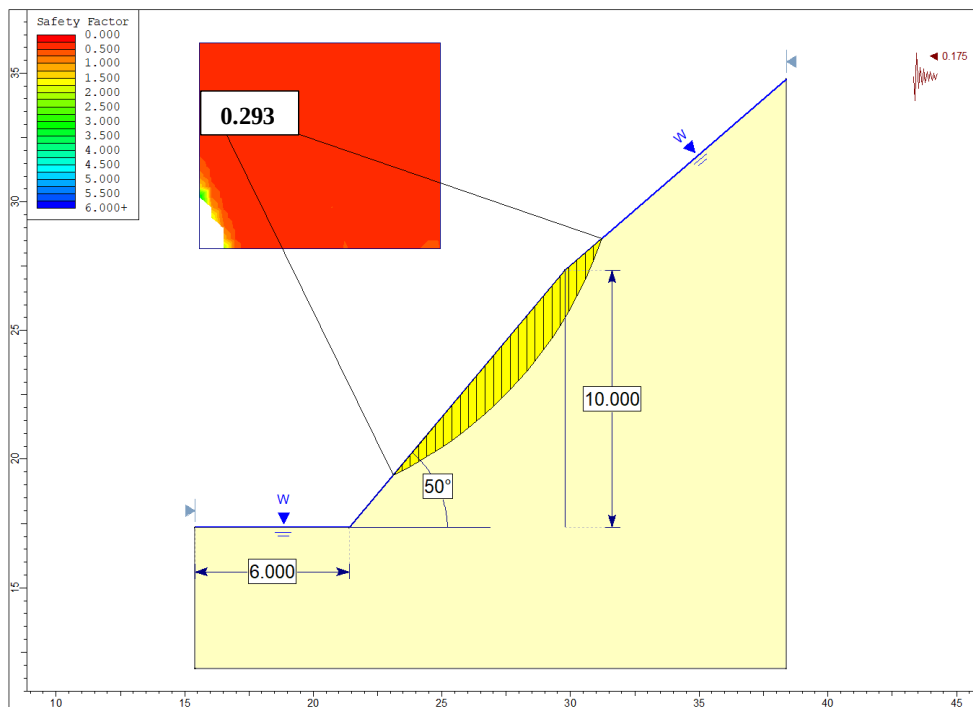


Figura 41: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Morgenstern-Price /Talud 03

➤ **Estación Geotécnica 04 (EG-04)**

El talud se encuentra localizado al lado izquierdo de la carretera, a la progresiva 03+000. Presenta una altura considerable de 10 metros y un ángulo de inclinación pronunciado de 80° . En este tramo, la vía tiene un ancho de 8 metros. Según los resultados obtenidos en el estudio de mecánica de suelos, el talud está constituido por limos inorgánicos, arenas muy finas, y también por limos arcillosos con ligera plasticidad. Estos materiales han sido clasificados como ML conforme al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).



Fotografía 12: Talud 04 en la progresiva 03+000

Tabla 20: Geometría y parámetros de entrada del Talud 04

Geometría del Talud 04	
Altura del Talud (m)	8
Buzamiento ($^\circ$)	80 NW
Azimut ($^\circ$)	357
Ancho de la Carretera (m)	8
Parámetros de Entrada para el Cálculo del FS	
Peso Específico (KN/m^3)	17.170
Peso Específico Saturado (KN/m^3)	19.620
Cohesión (Kpa)	15
Ángulo de Fricción ($^\circ$)	28
Coeficiente Sísmico (Kh)	0.175

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Bishop para la EG-04**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Bishop:

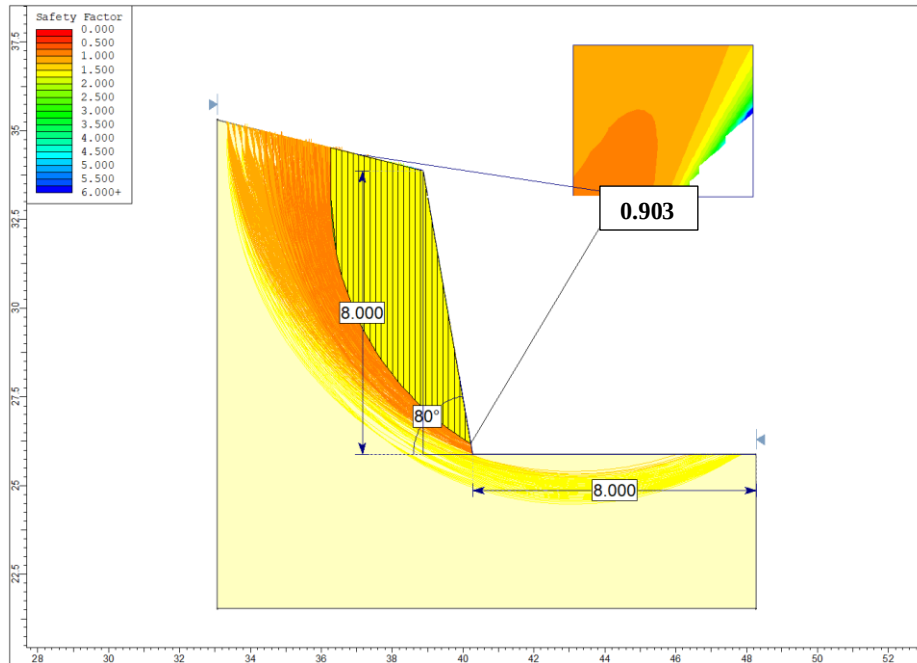


Figura 42: FS en Condiciones Estáticas – Método de Bishop/Talud-04

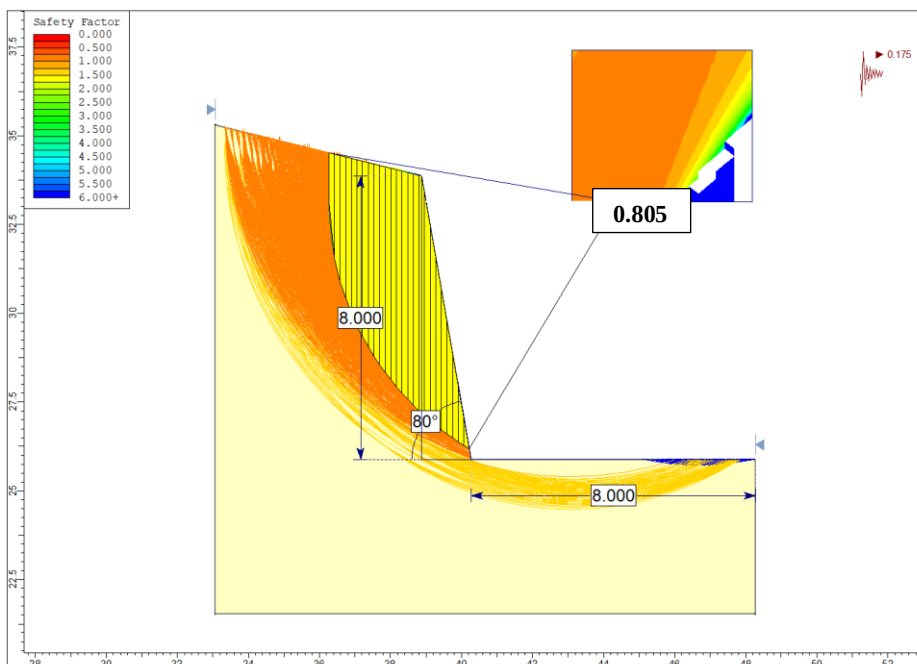


Figura 43: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Bishop/Talud 04

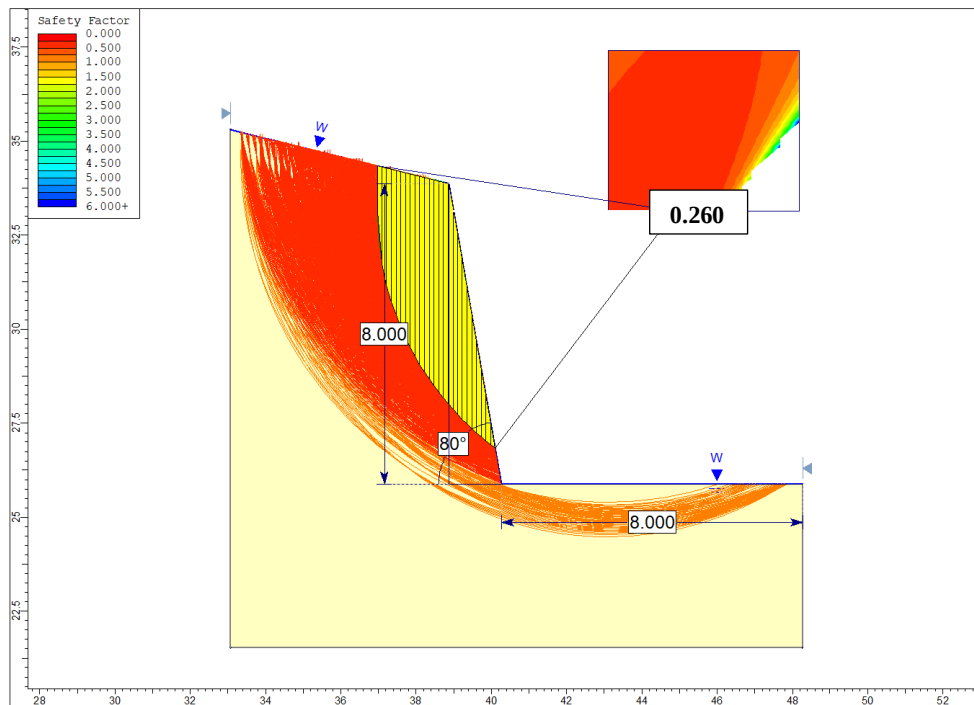


Figura 44: FS en Condiciones Saturadas – Método de Bishop/Talud 04

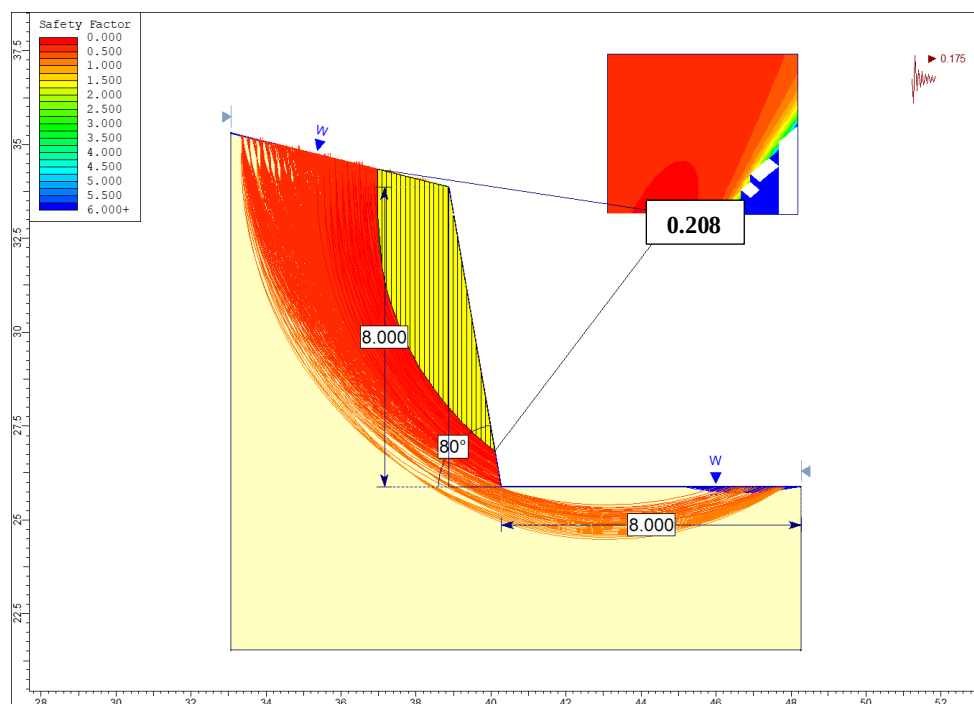


Figura 45: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Bishop/Talud 04

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Spencer para la EG-04**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Spencer:

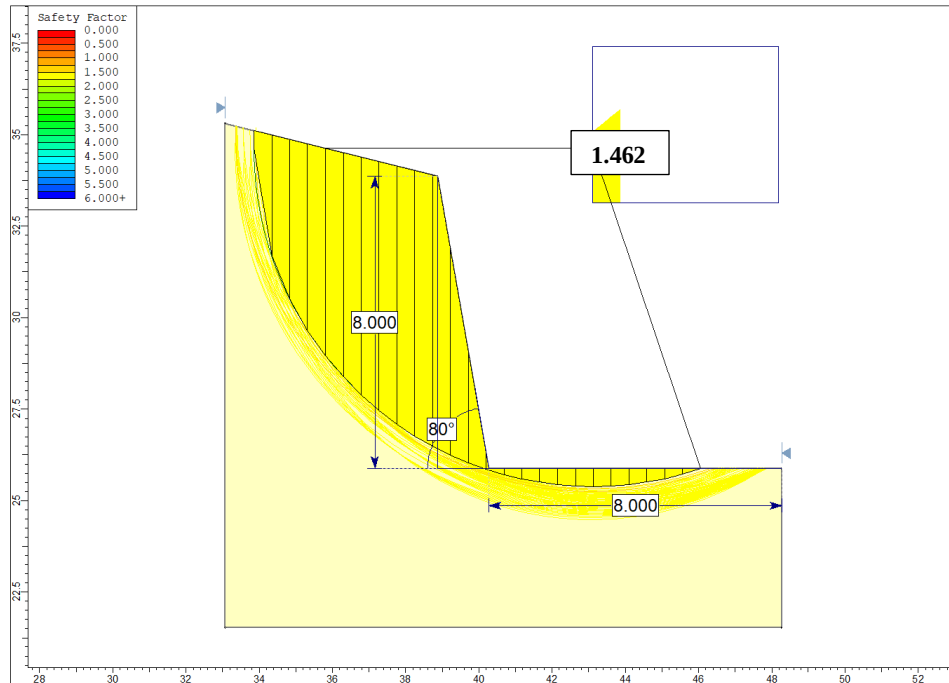


Figura 46: FS en Condiciones Estáticas – Método de Spencer/Talud 04

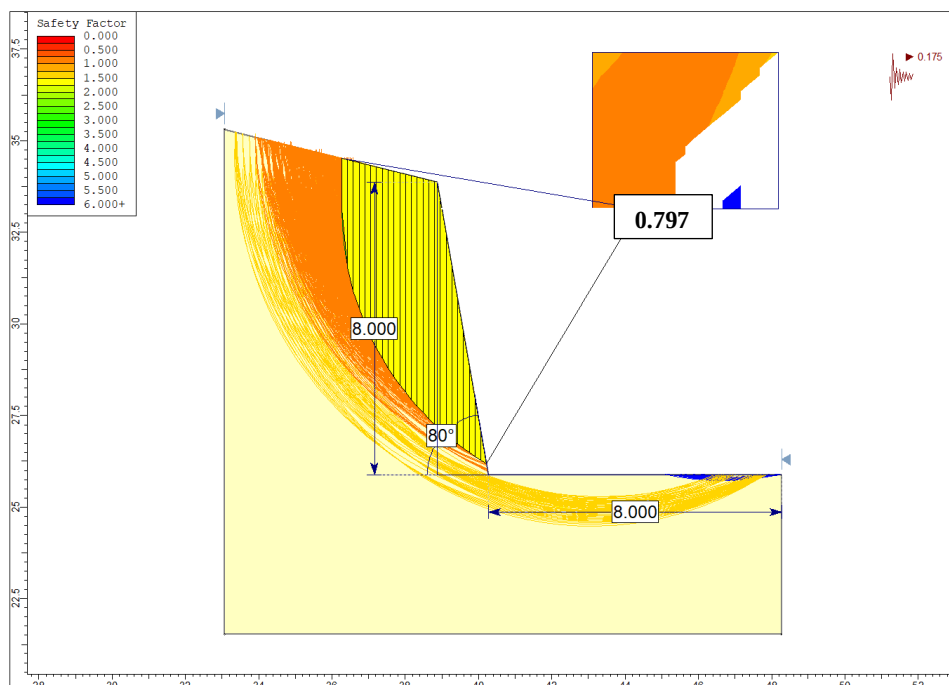


Figura 47: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Spencer/Talud 04

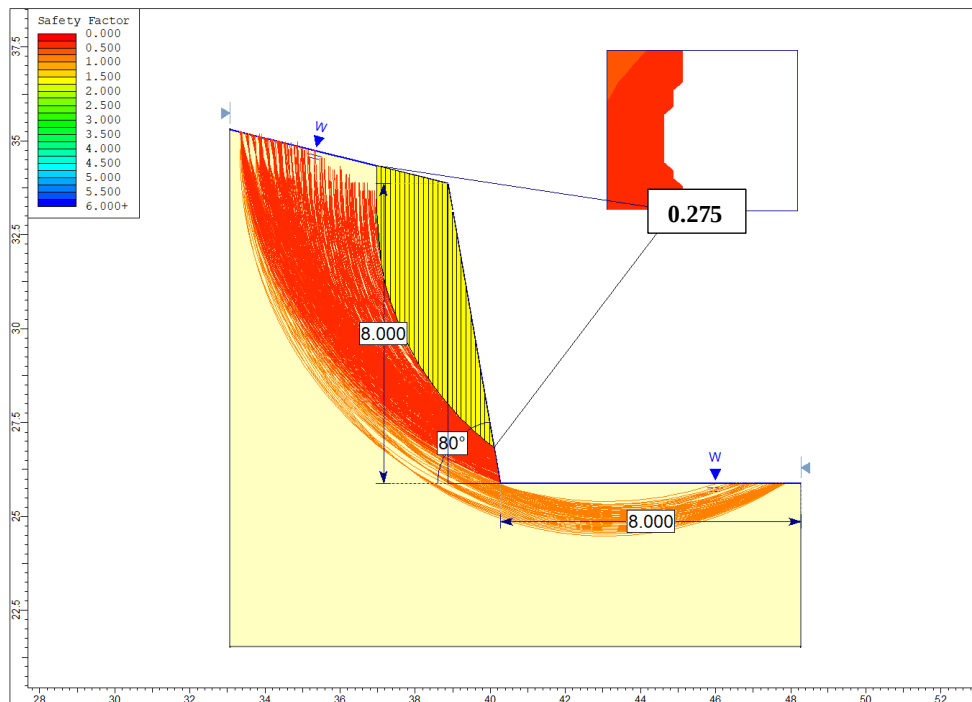


Figura 48: FS en Condiciones Saturadas – Método de Spencer /Talud 04

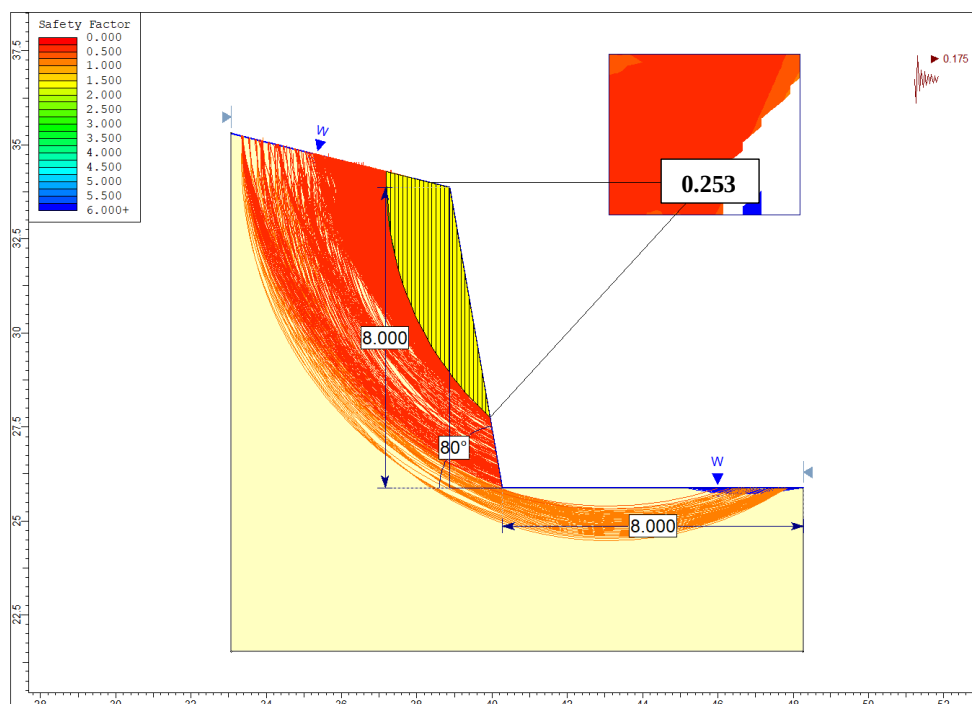


Figura 49: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Spencer /Talud 04

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Morgenstern-Price para la EG-04**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Morgenstern-Price:

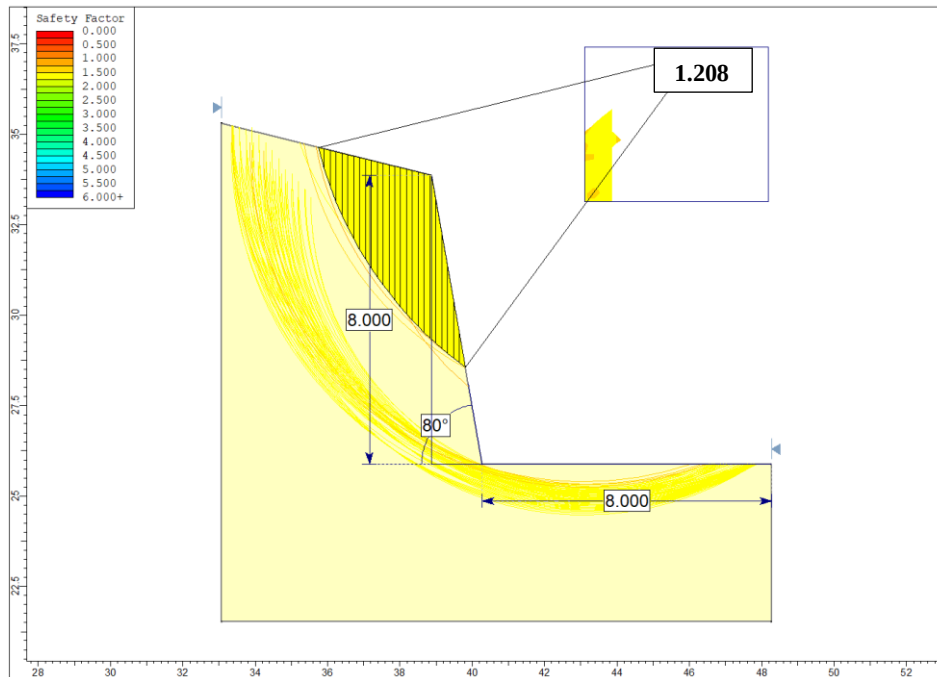


Figura 50: FS en Condiciones Estáticas – Método de Morgenstern-Price /Talud 04

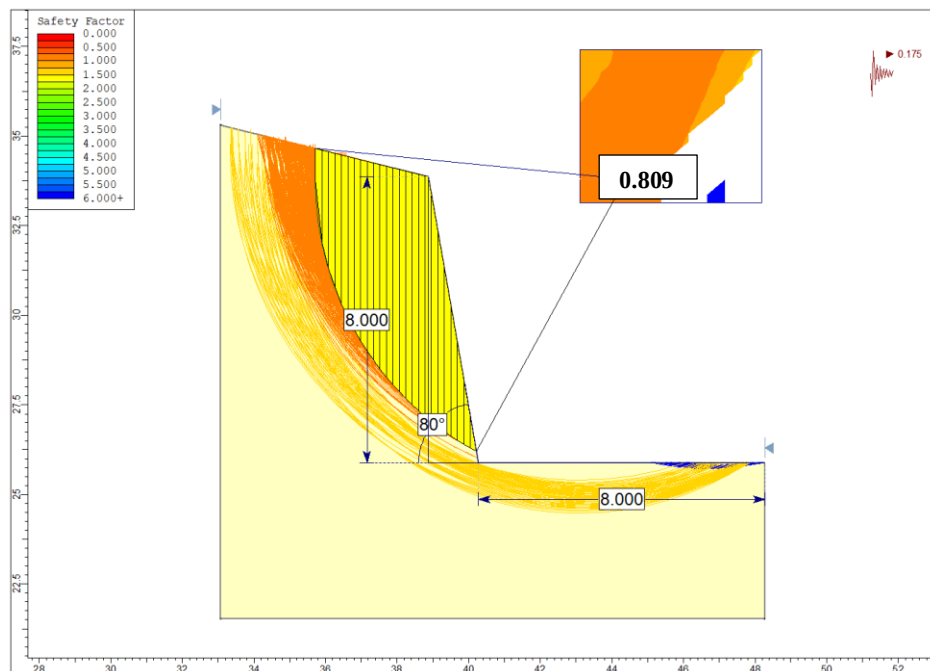


Figura 51: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Morgenstern-Price/Talud 04

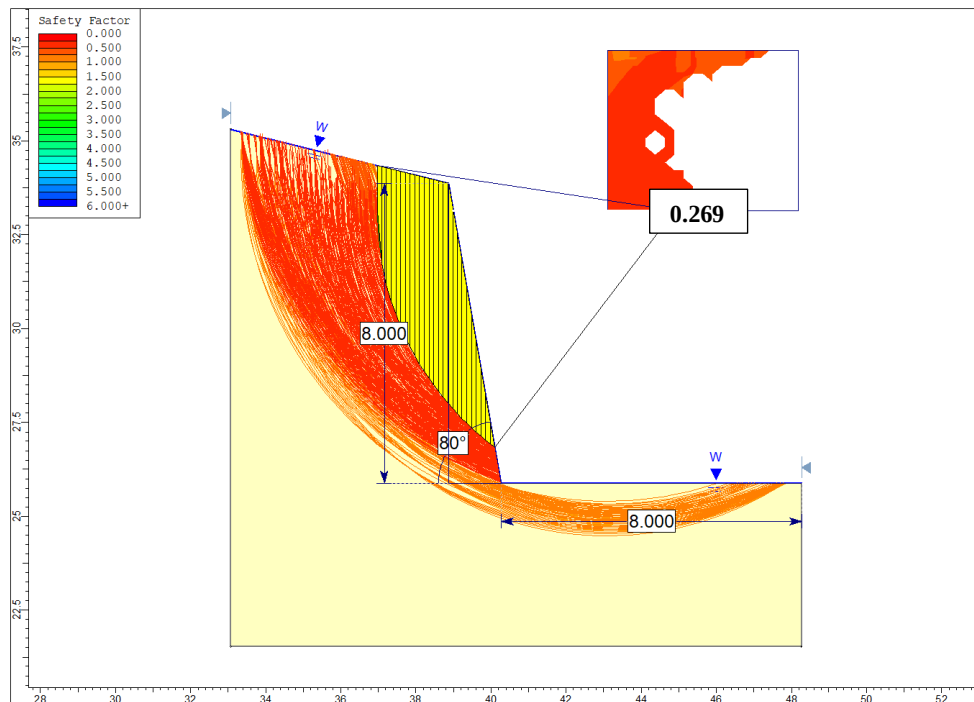


Figura 52: FS en Condiciones Saturadas – Método de Morgenstern-Price /Talud 04

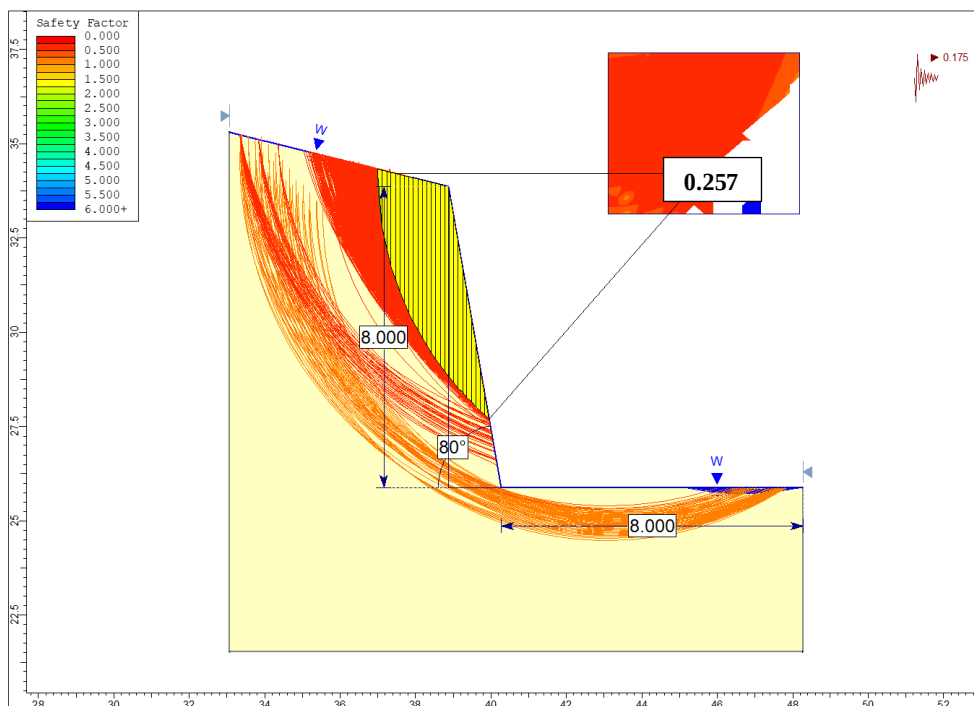


Figura 53: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Morgenstern-Price /Talud 04

➤ **Estación Geotécnica 05 (EG-05)**

Este talud se ubica en el margen izquierdo de la carretera, en la progresiva 03+500. Tiene una altura aproximada de 8 metros y una pendiente inclinada con un buzamiento de 76° . En esta sección, la carretera cuenta con un ancho de 9 metros.

Los análisis realizados mediante el estudio de mecánica de suelos permitieron identificar que el terreno está compuesto por arenas limosas y arcillosas, con una cantidad apreciable de materiales finos. Según la clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), estos suelos corresponden al grupo SC-SM.



Fotografía 13: Talud 05 en la progresiva 03+500

Tabla 21: Geometría y parámetros de entrada del Talud 05

Geometría del Talud 05	
Altura del Talud (m)	8
Buzamiento ($^\circ$)	76 NE
Azimut ($^\circ$)	80
Ancho de la Carretera (m)	9
Parámetros de Entrada para el Cálculo del FS	
Peso Específico (KN/m^3)	15.790
Peso Específico Saturado (KN/m^3)	20.600
Cohesión (Kpa)	10
Ángulo de Fricción ($^\circ$)	32

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Bishop para la EG-05**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Bishop:

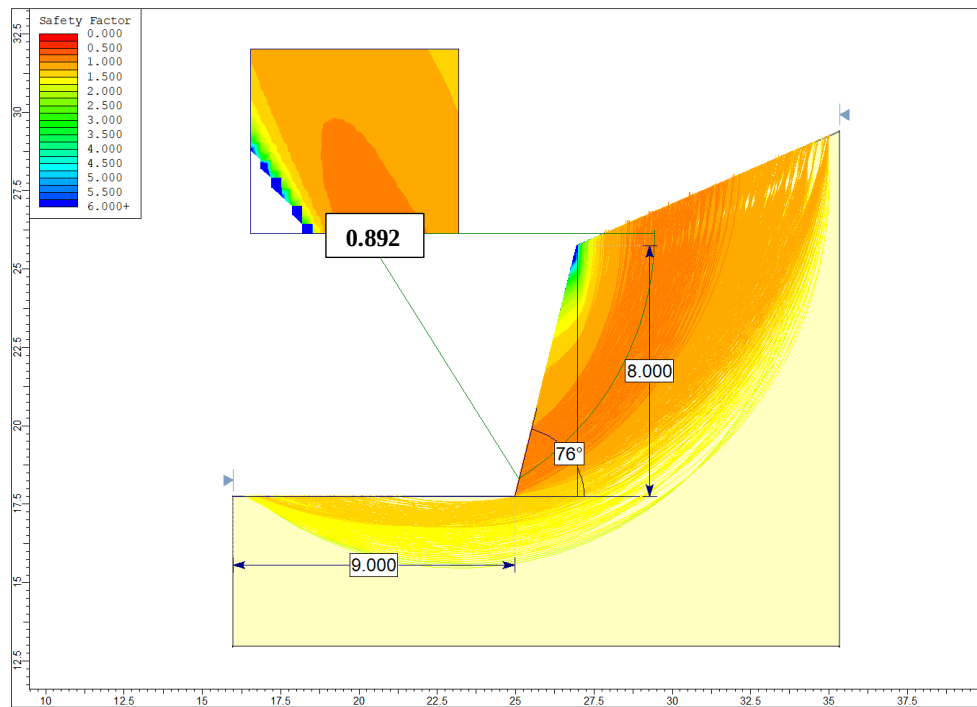


Figura 54: FS en Condiciones Estáticas – Método de Bishop/Talud 05

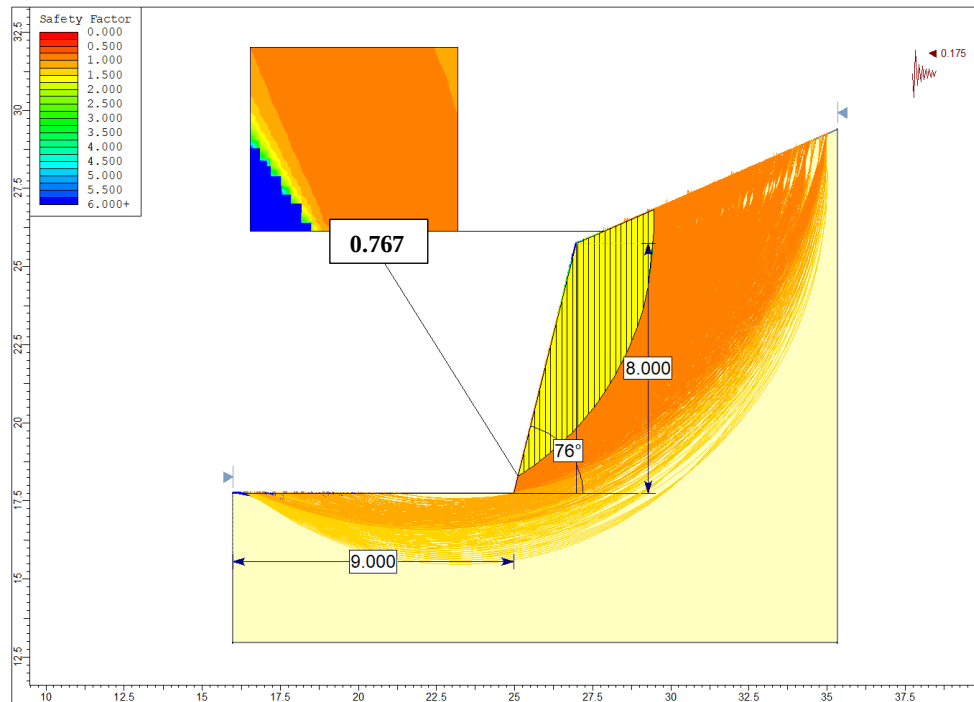


Figura 55: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Bishop/Talud 05

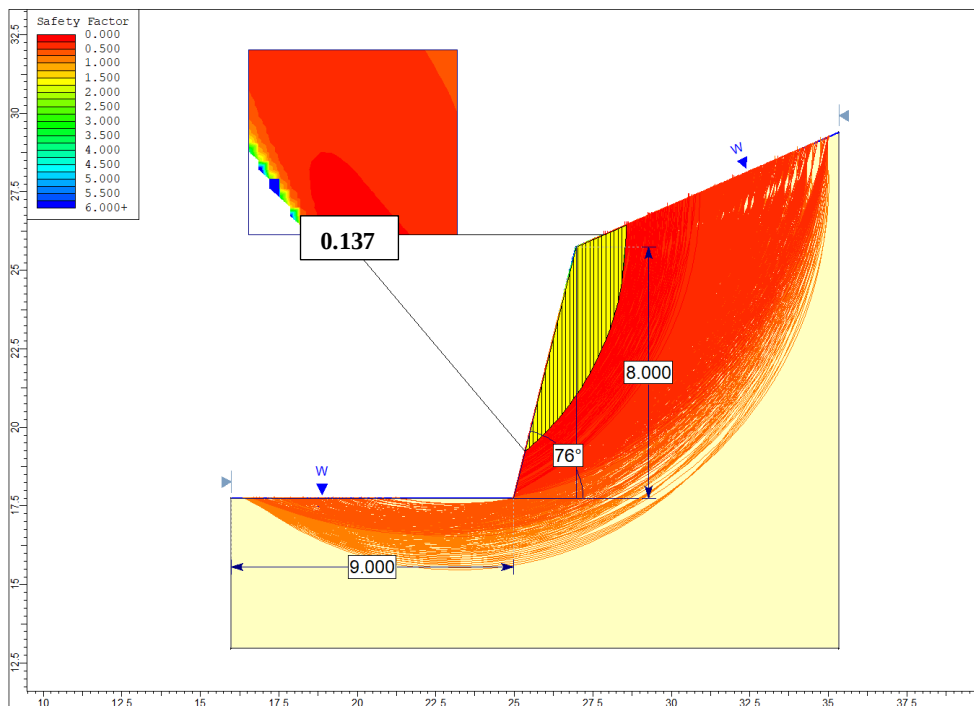


Figura 56: FS en Condiciones Saturadas – Método de Bishop/Talud 05

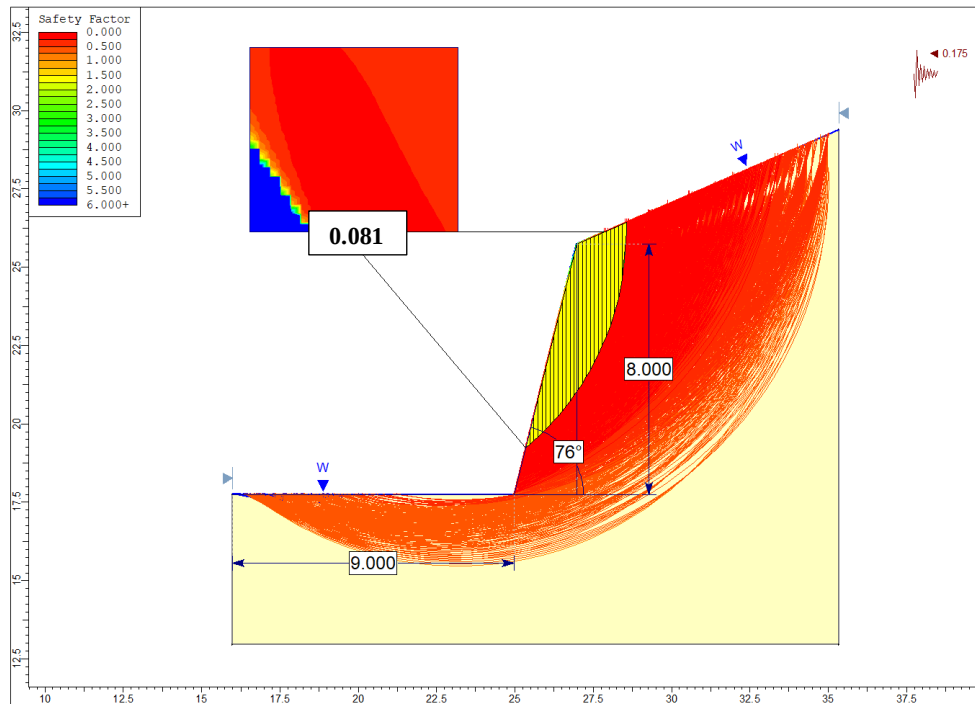


Figura 57: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Bishop/Talud 05

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Spencer para la EG-05**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Spencer:

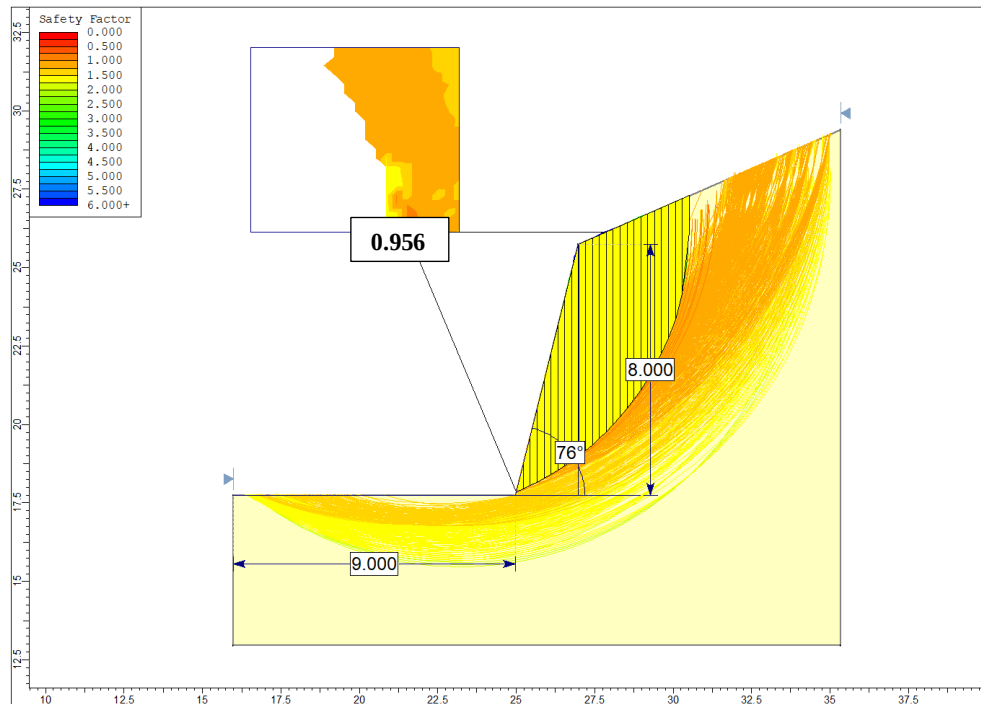


Figura 58: FS en Condiciones Estáticas – Método de Spencer/Talud 05

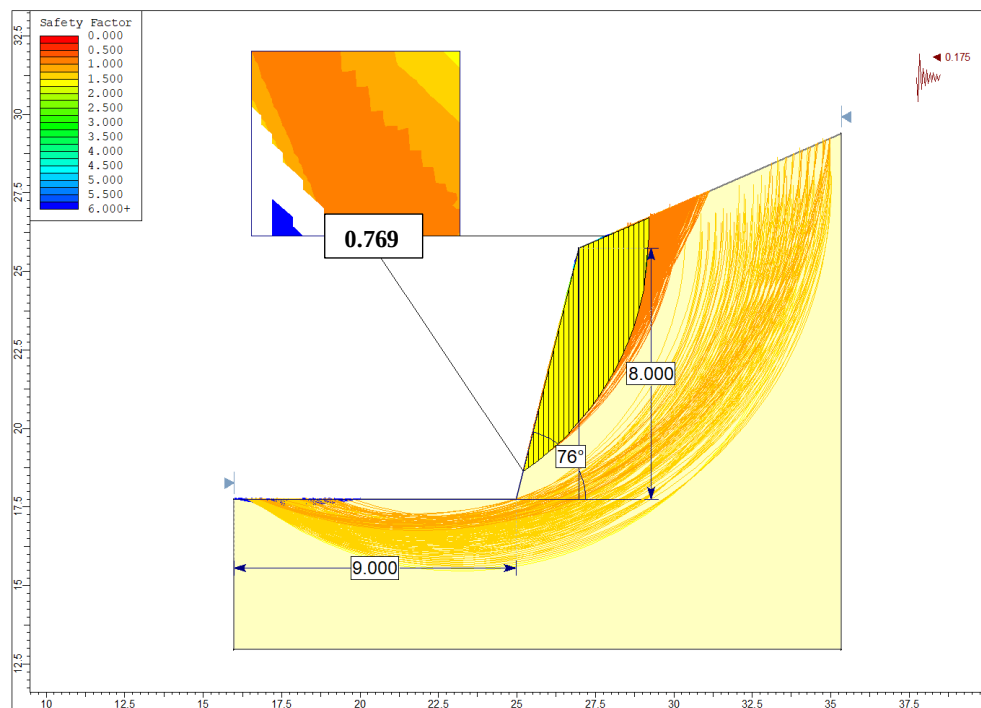


Figura 59: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Spencer/Talud 05

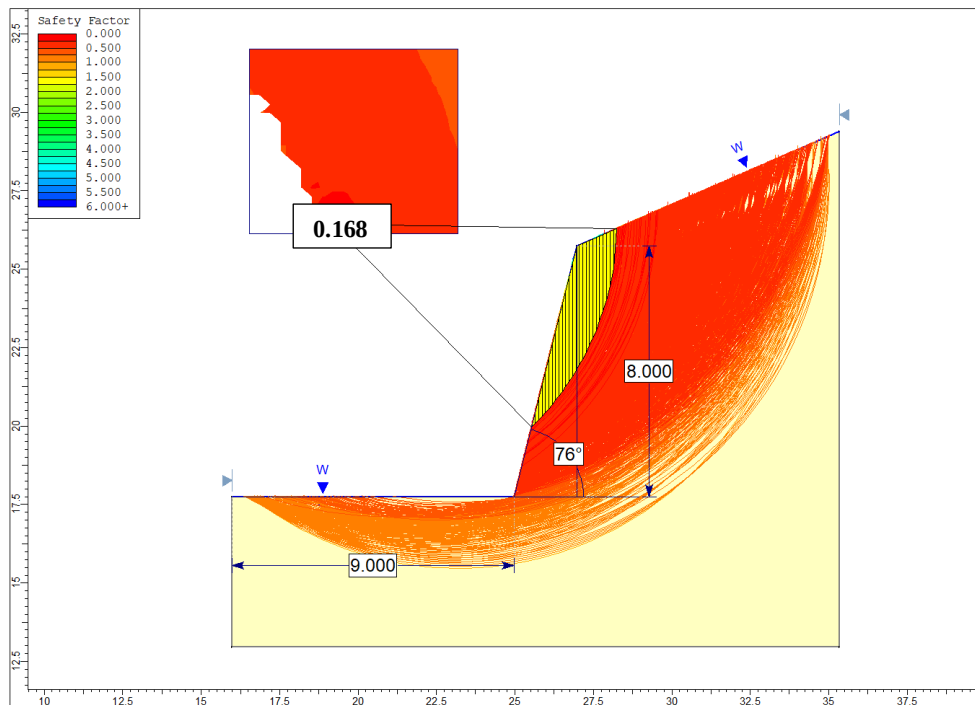


Figura 60: FS en Condiciones Saturadas – Método de Spencer /Talud 05

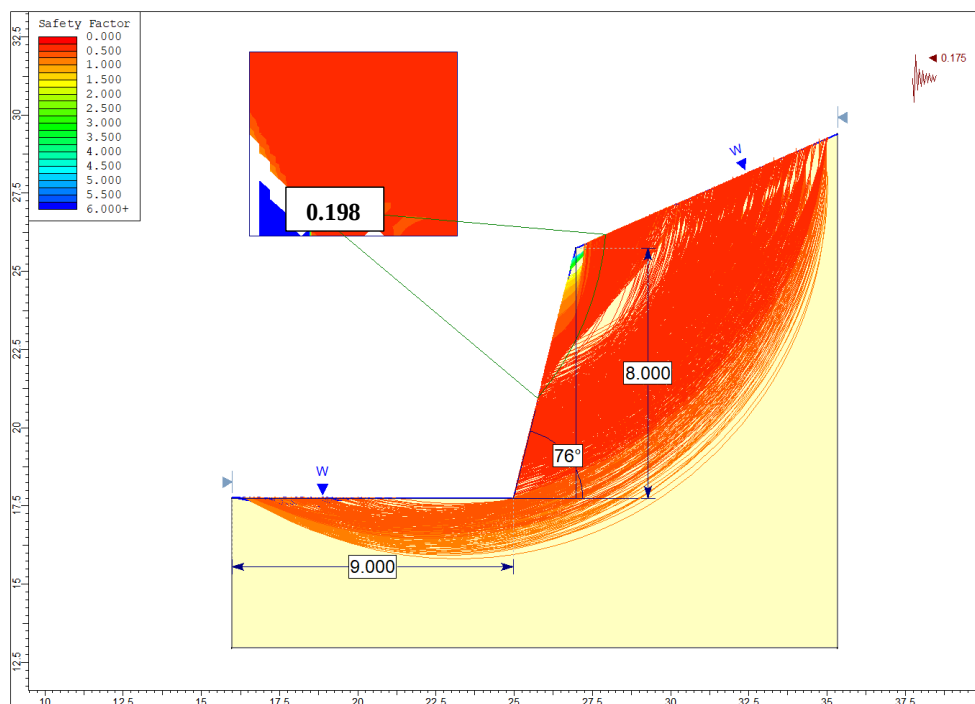


Figura 61: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Spencer /Talud 05

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Morgenstern-Price para la EG-05**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Morgenstern-Price:

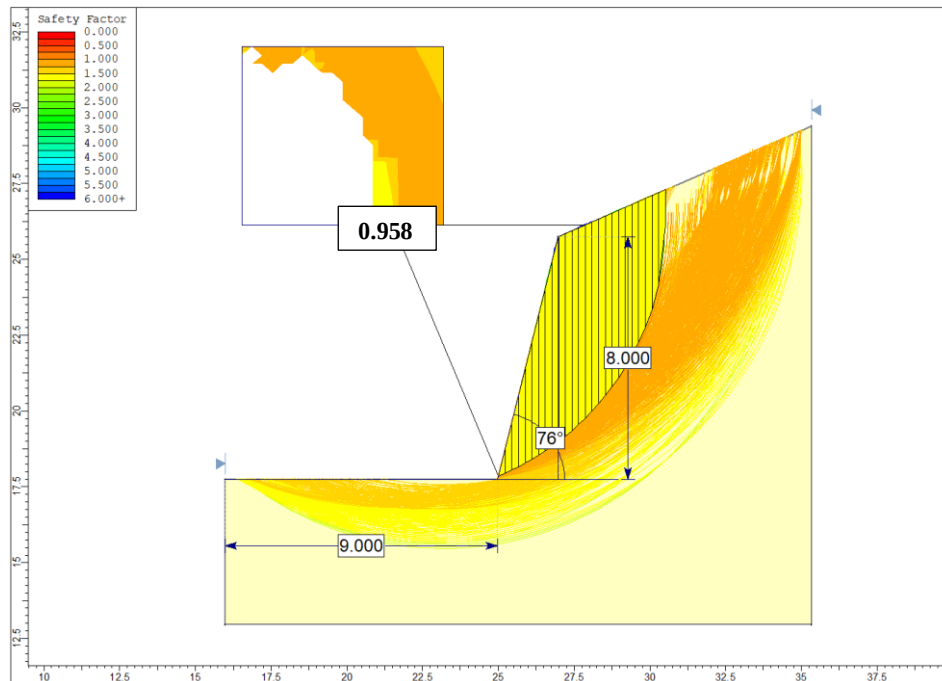


Figura 62: FS en Condiciones Estáticas – Método de Morgenstern-Price /Talud 05

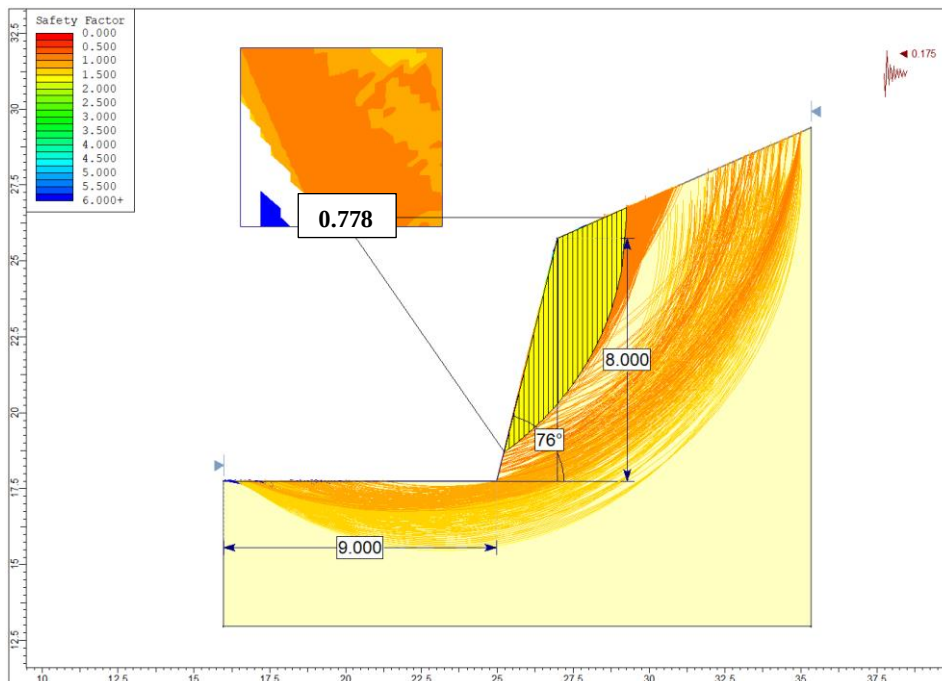


Figura 63: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Morgenstern-Price/Talud 05

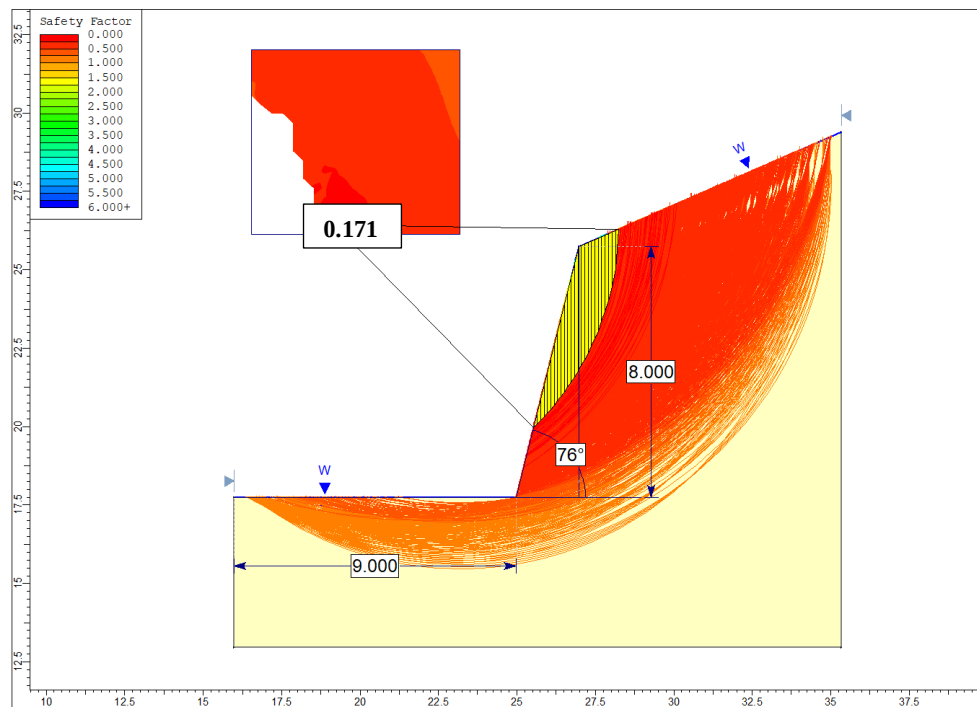


Figura 64: FS en Condiciones Saturadas – Método de Morgenstern-Price /Talud 05

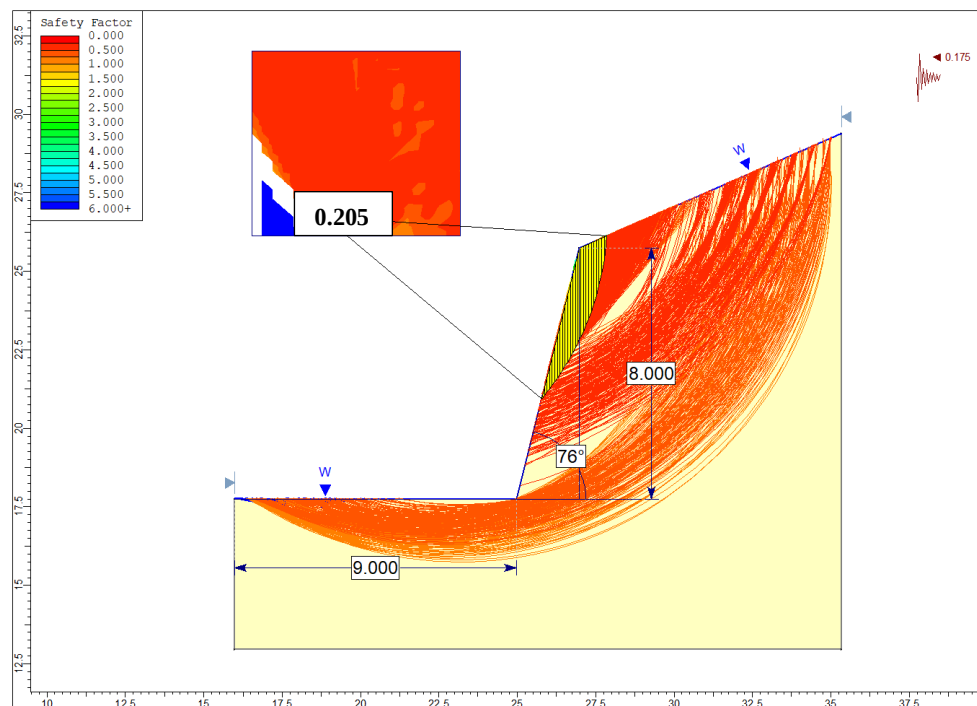
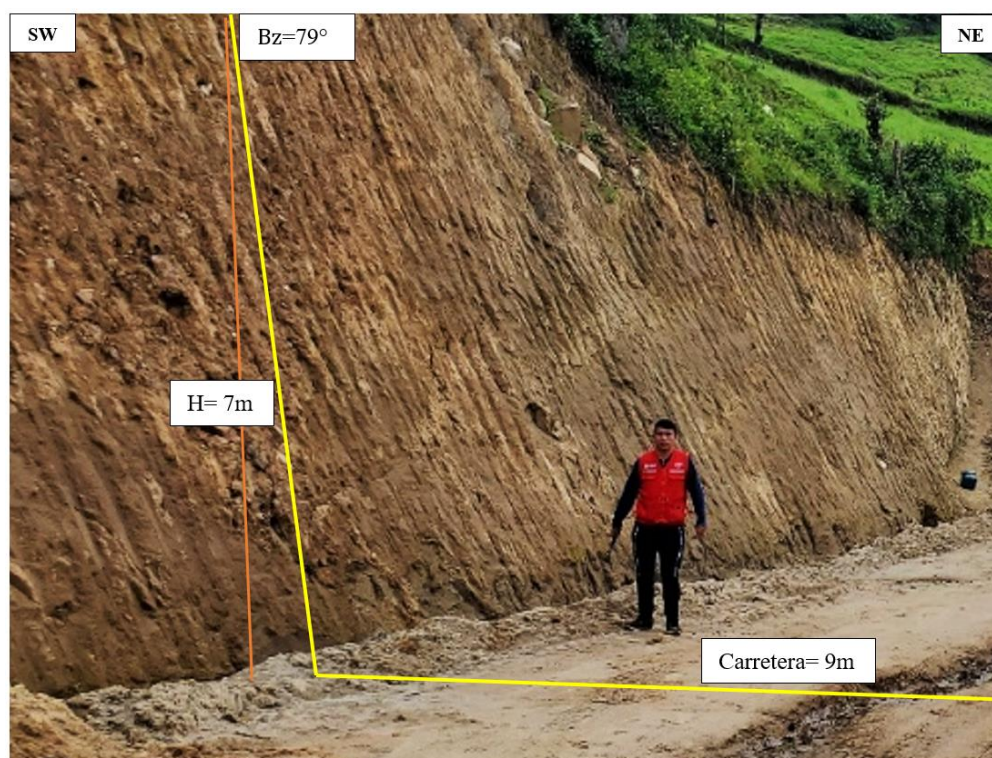


Figura 65: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Morgenstern-Price /Talud 05

➤ **Estación Geotécnica 06 (EG-06)**

El presente talud se localiza al lado izquierdo de la carretera, a la progresiva 04+000. Tiene una altura estimada de 7 metros y presenta una inclinación bastante empinada, con un buzamiento de 79°. La calzada, en este tramo, posee un ancho de 9 metros. Los resultados del estudio de mecánica de suelos indican que el material predominante corresponde a arenas limosas y arcillosas, con una proporción considerable de partículas finas. Según la clasificación SUCS, estos suelos se ubican dentro del grupo ML.



Fotografía 14: Talud 06 en la progresiva 04+000

Tabla 22: Geometría y parámetros de entrada del Talud 06

Geometría del Talud 06	
Altura del Talud (m)	7
Buzamiento (°)	79 NW
Azimut (°)	340
Ancho de la Carretera (m)	9
Parámetros de Entrada para el Cálculo del FS	
Peso Específico (KN/m ³)	17.170
Peso Específico Saturado (KN/m ³)	19.620
Cohesión (Kpa)	15
Ángulo de Fricción (°)	28
Coficiente Sísmico (Kh)	0.175

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Bishop para la EG-06**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Bishop:

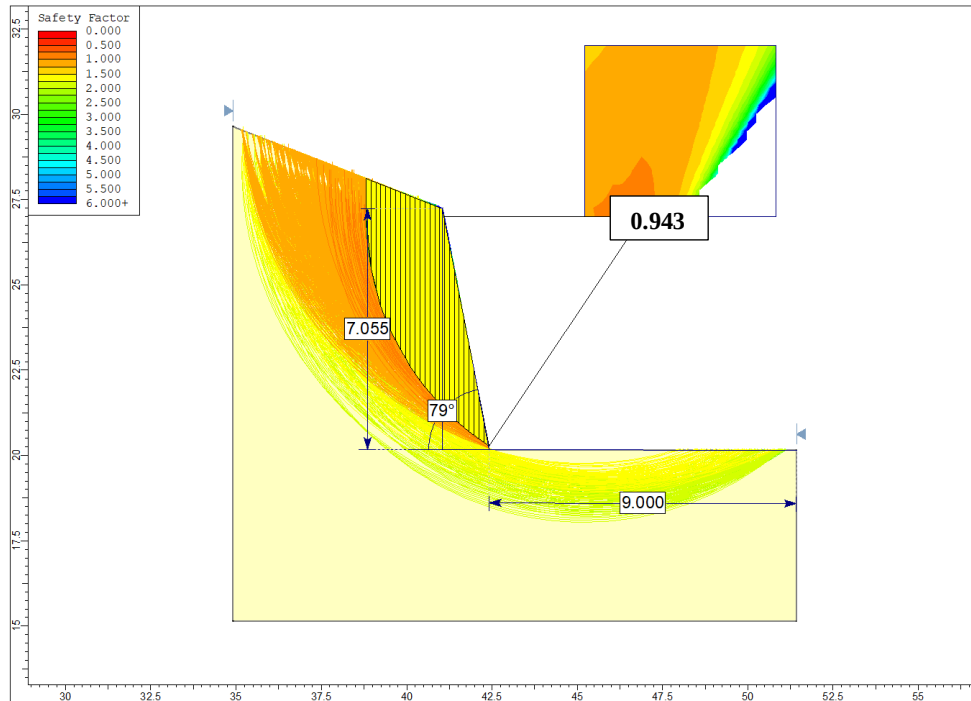


Figura 66: FS en Condiciones Estáticas – Método de Bishop/Talud 06

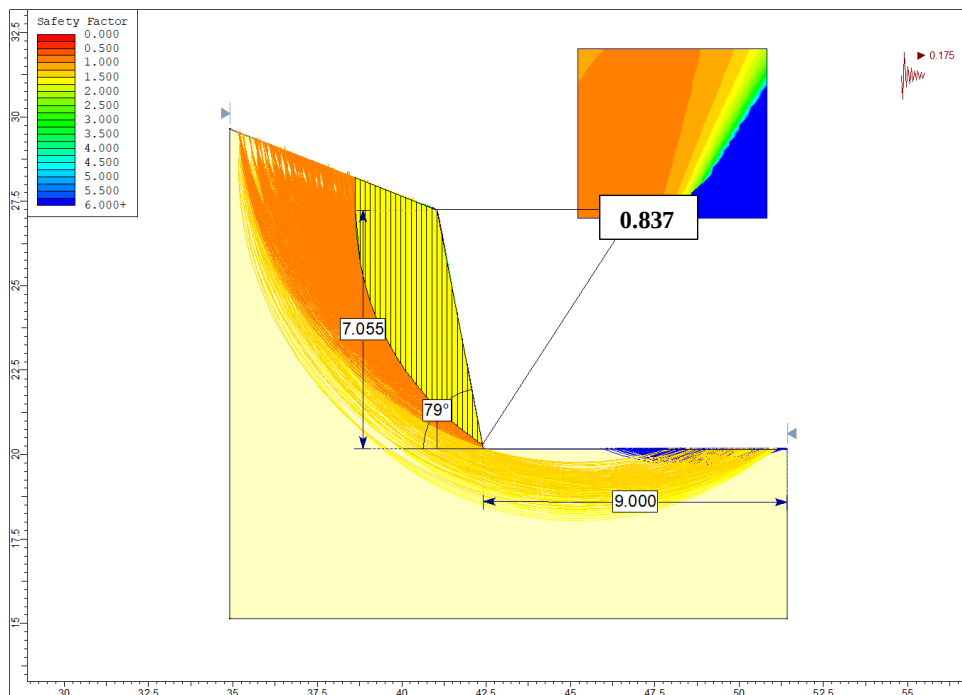


Figura 67: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Bishop/Talud 06

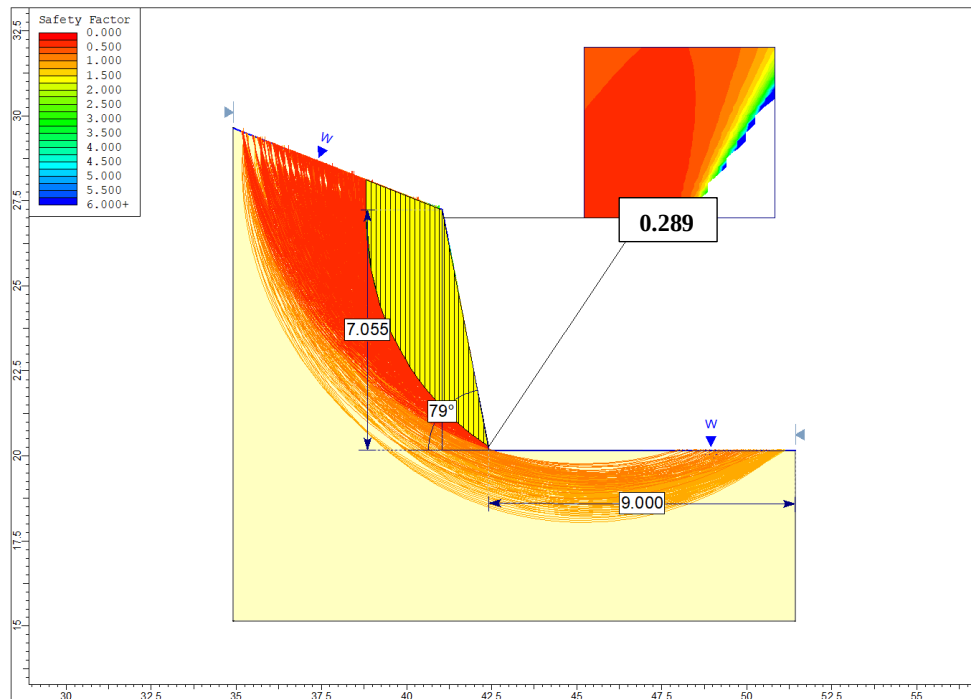


Figura 68: FS en Condiciones Saturadas – Método de Bishop/Talud 06

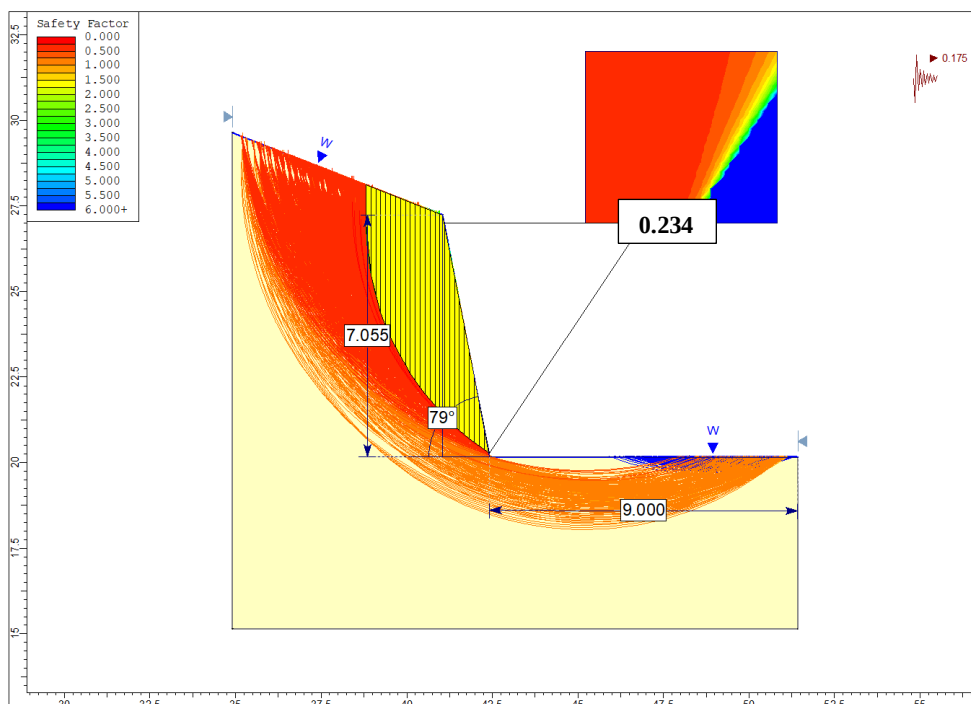


Figura 69: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Bishop/Talud 06

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Spencer para la EG-0**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Spencer:

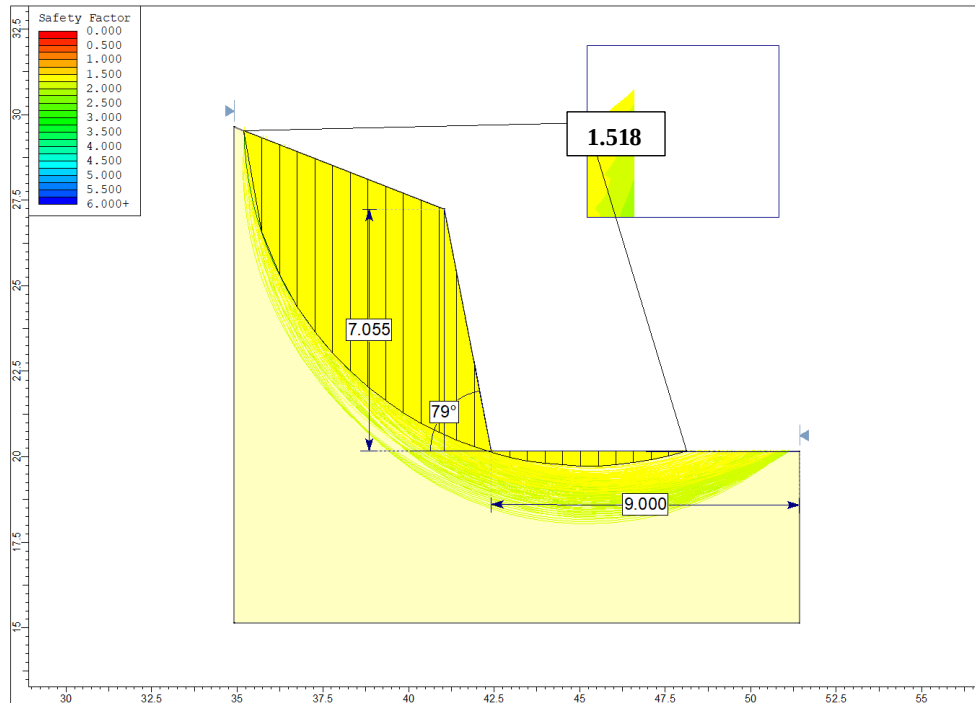


Figura 70: FS en Condiciones Estáticas – Método de Spencer/Talud 06

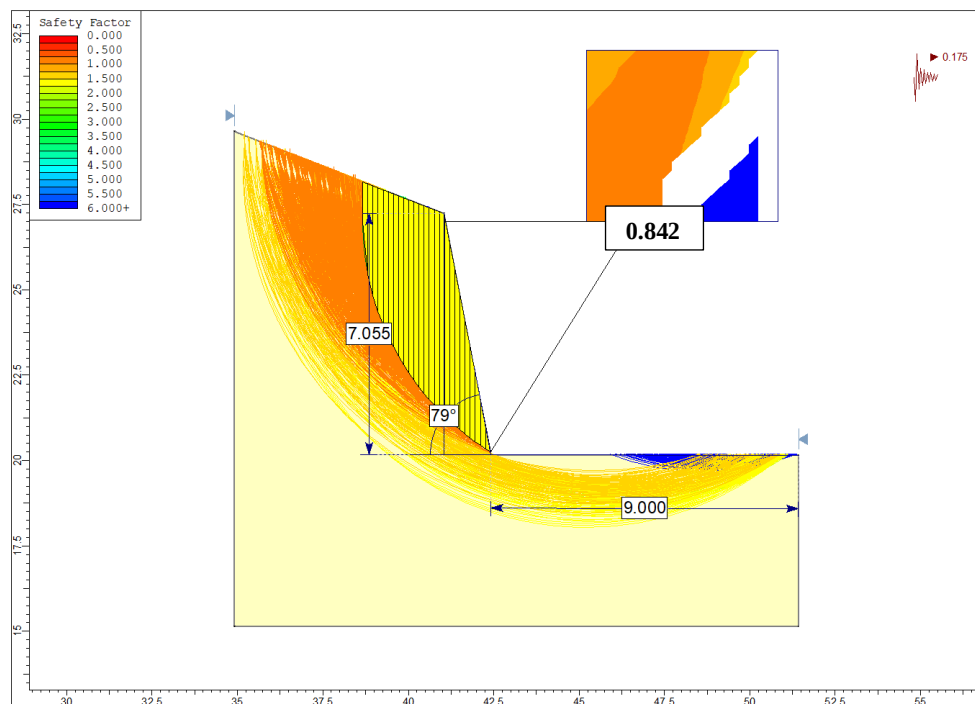


Figura 71: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Spencer/Talud 06

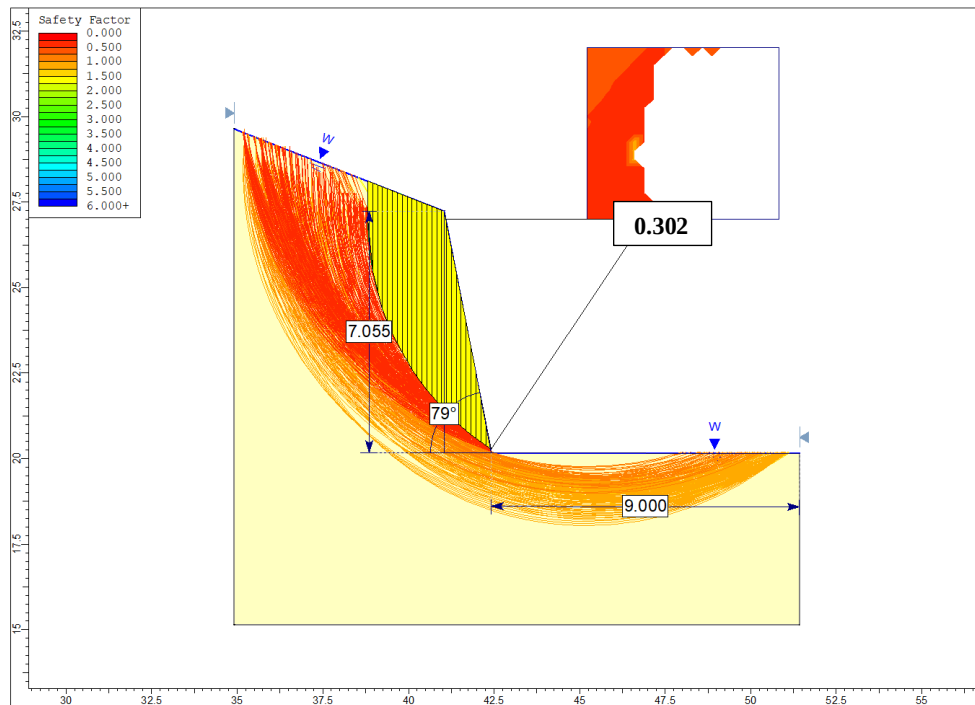


Figura 72: FS en Condiciones Saturadas – Método de Spencer /Talud 06

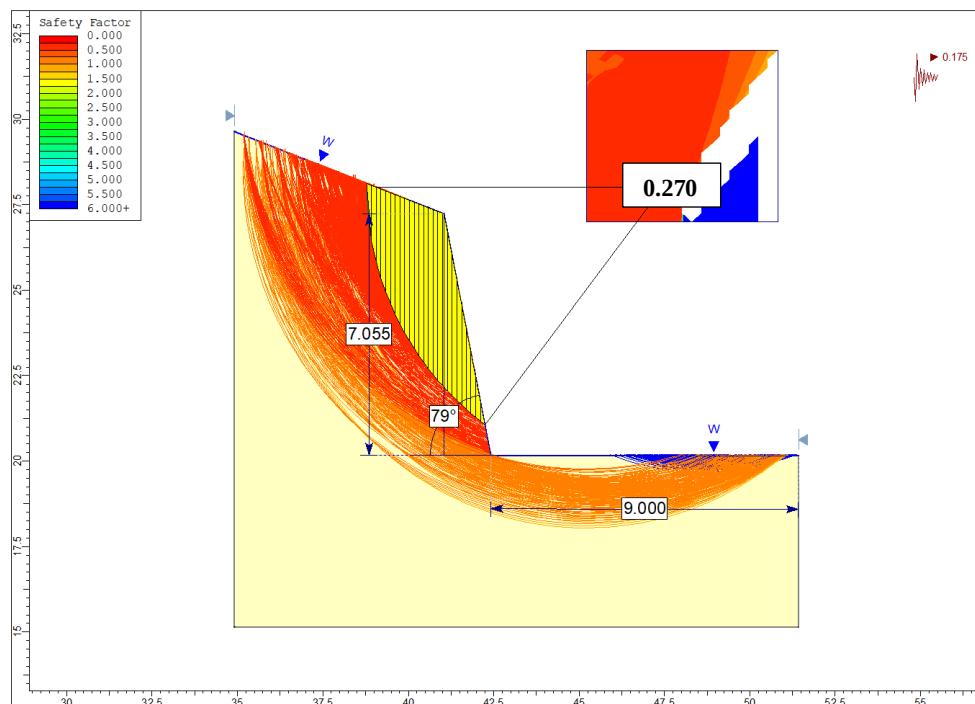


Figura 73: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Spencer /Talud 06

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Morgenstern-Price para la EG-06**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Morgenstern-Price:

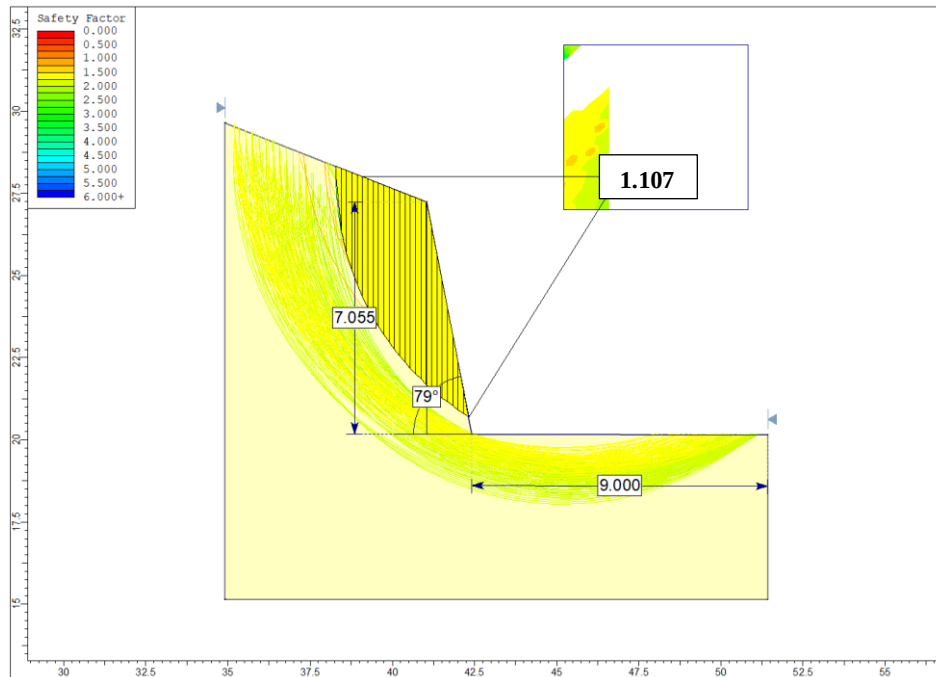


Figura 74: FS en Condiciones Estáticas – Método de Morgenstern-Price /Talud 06

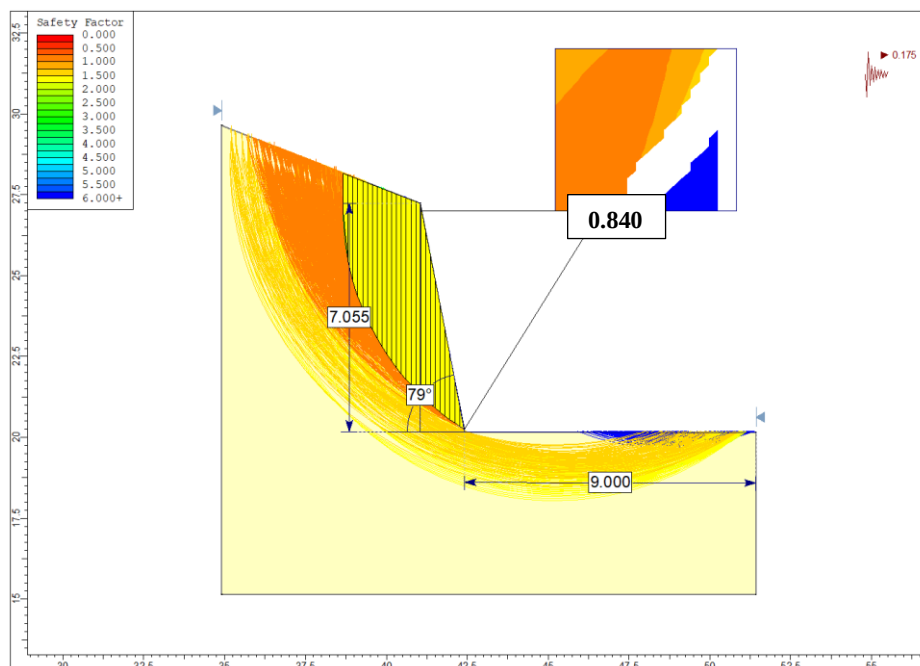


Figura 75: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Morgenstern-Price/Talud 06

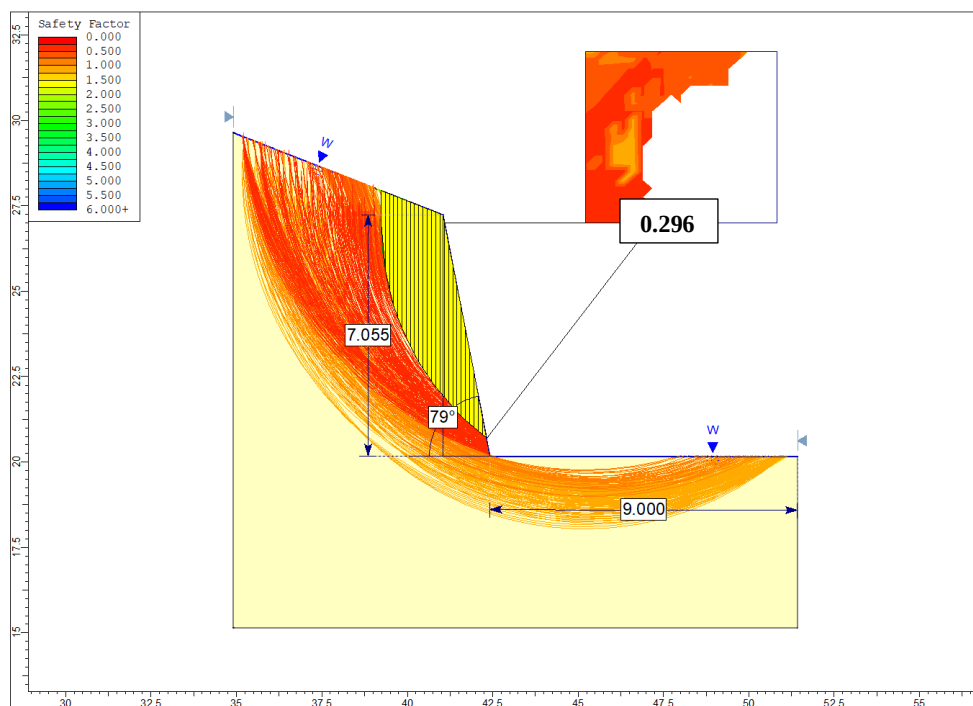


Figura 76: FS en Condiciones Saturadas – Método de Morgenstern-Price /Talud 06

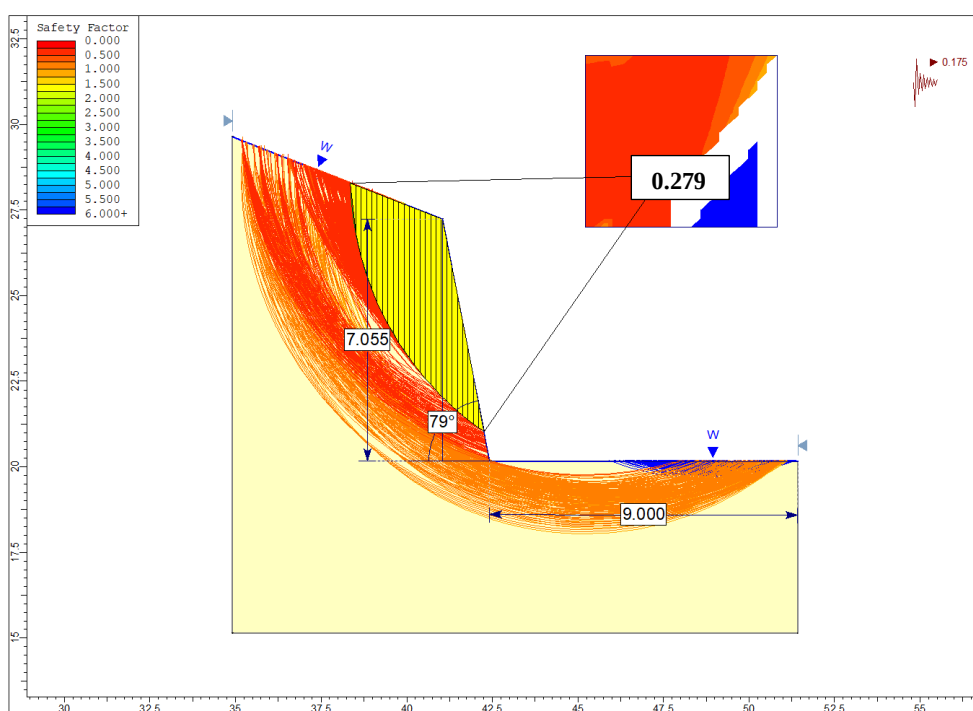
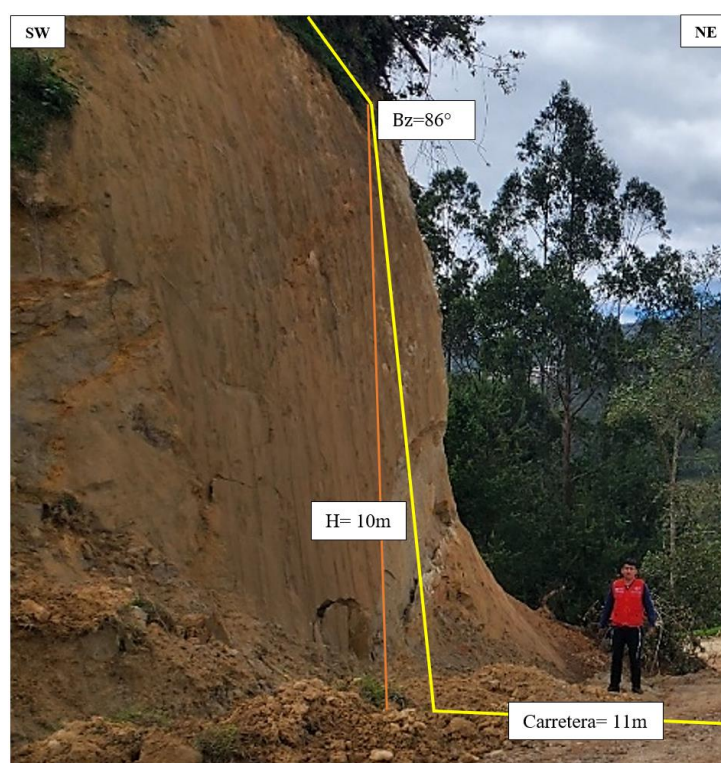


Figura 77: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Morgenstern-Price /Talud 06

➤ **Estación Geotécnica 07 (EG-07)**

El talud se ubica en el margen izquierdo de la vía, correspondiente a la progresiva 04+500. Presenta una altura de 10 metros y una inclinación muy pronunciada, con un ángulo de buzamiento de 86° . La carretera en este sector tiene un ancho de 11 metros. De acuerdo con el estudio de mecánica de suelos, el material dominante corresponde a arenas limosas o mezclas de arena y limo. Estos suelos han sido clasificados como SM, según los criterios del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).



Fotografía 15: Talud 07 en la progresiva 04+500

Tabla 23: Geometría y parámetros de entrada del Talud 07

Geometría del Talud 07	
Altura del Talud (m)	10
Buzamiento ($^\circ$)	86 NE
Azimut ($^\circ$)	30
Ancho de la Carretera (m)	11
Parámetros de Entrada para el Cálculo del FS	
Peso Específico (KN/m^3)	15.700
Peso Específico Saturado (KN/m^3)	20.600
Cohesión (Kpa)	5
Ángulo de Fricción ($^\circ$)	34
Coefficiente Sísmico (Kh)	0.175

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Bishop para la EG-07**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Bishop:

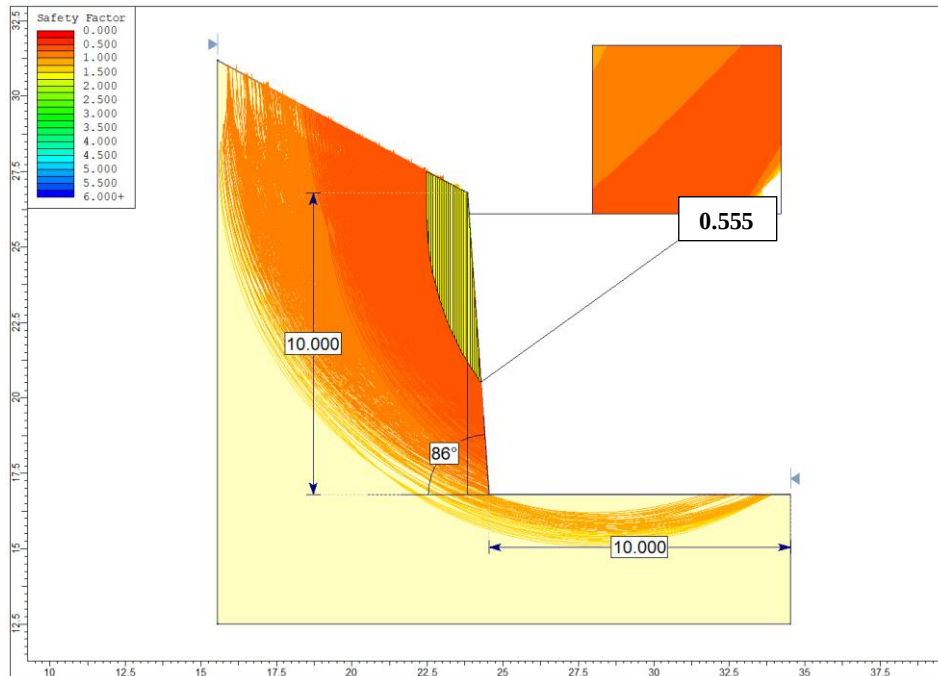


Figura 78: FS en Condiciones Estáticas – Método de Bishop/Talud 07

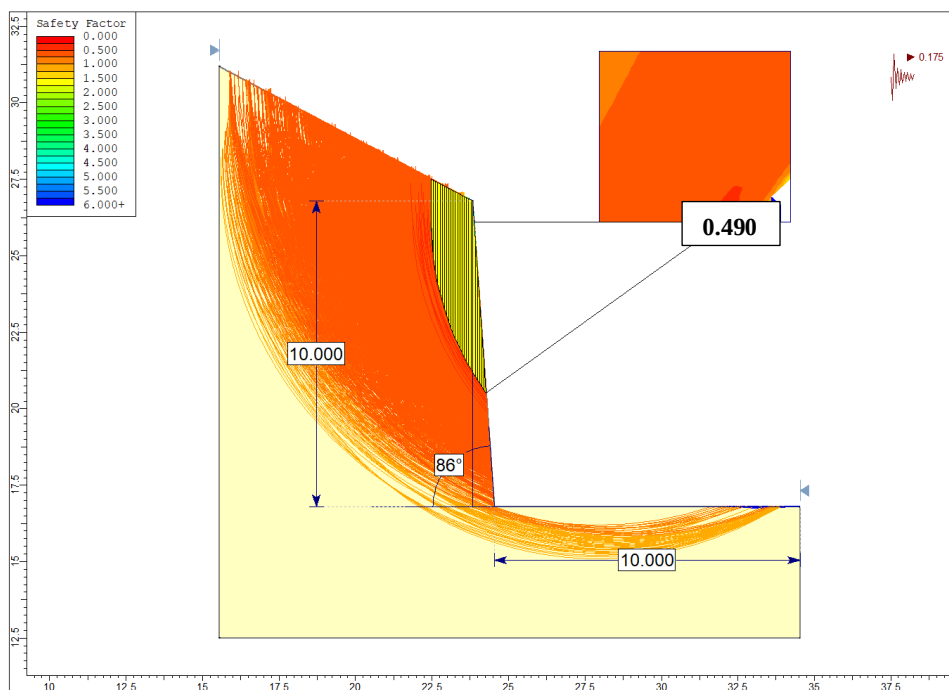


Figura 79: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Bishop/Talud 07

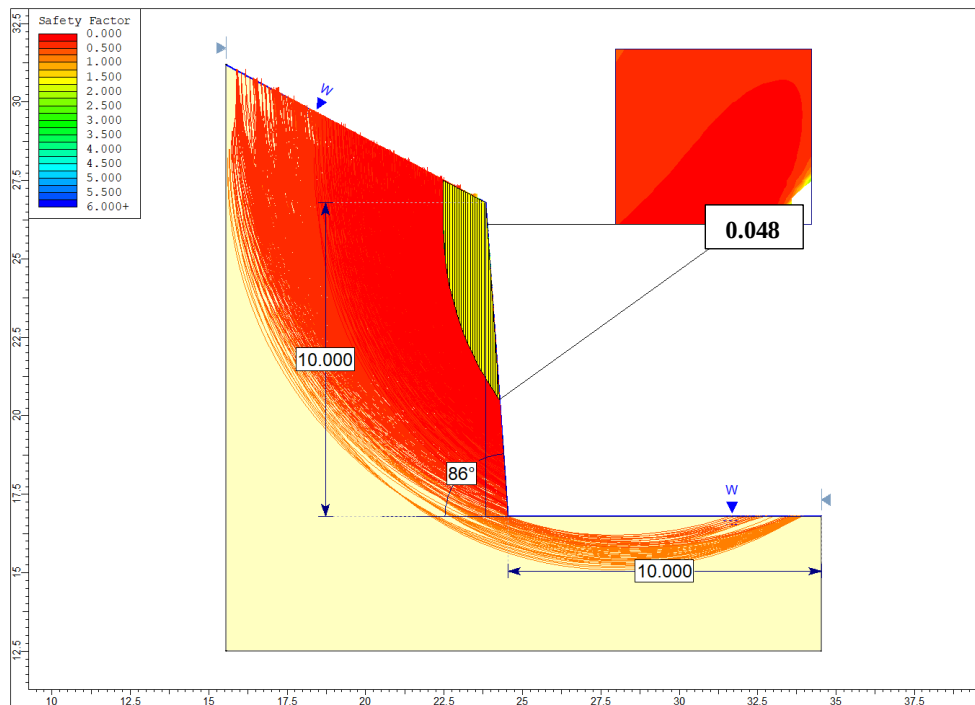


Figura 80: FS en Condiciones Saturadas – Método de Bishop/Talud 07

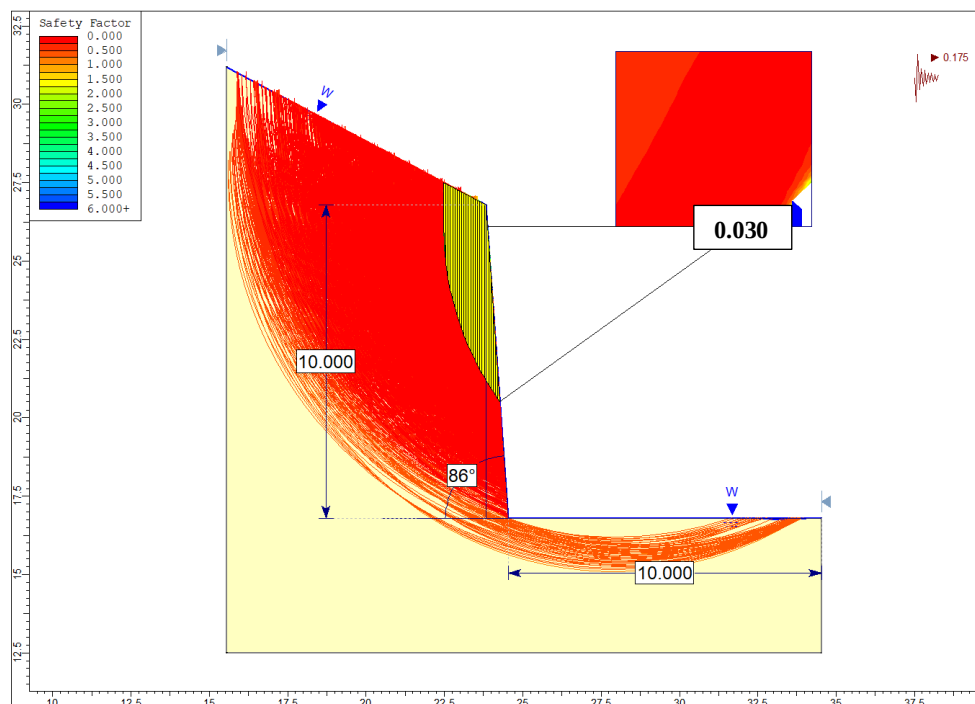


Figura 81: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Bishop/Talud 07

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Spencer para la EG-07**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Spencer:

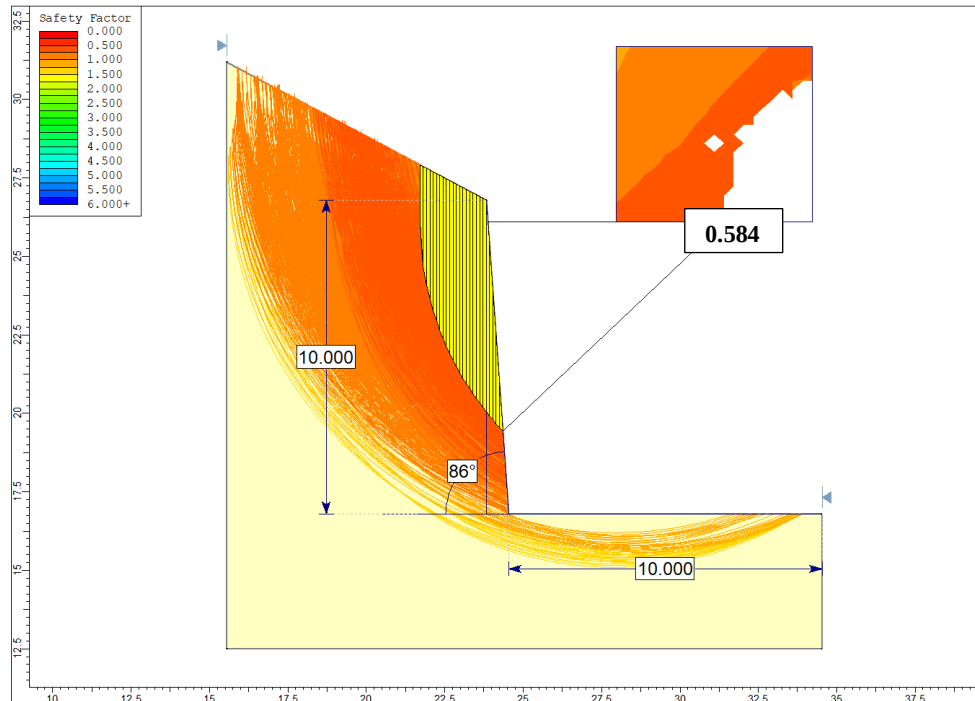


Figura 82: FS en Condiciones Estáticas – Método de Spencer/Talud 07

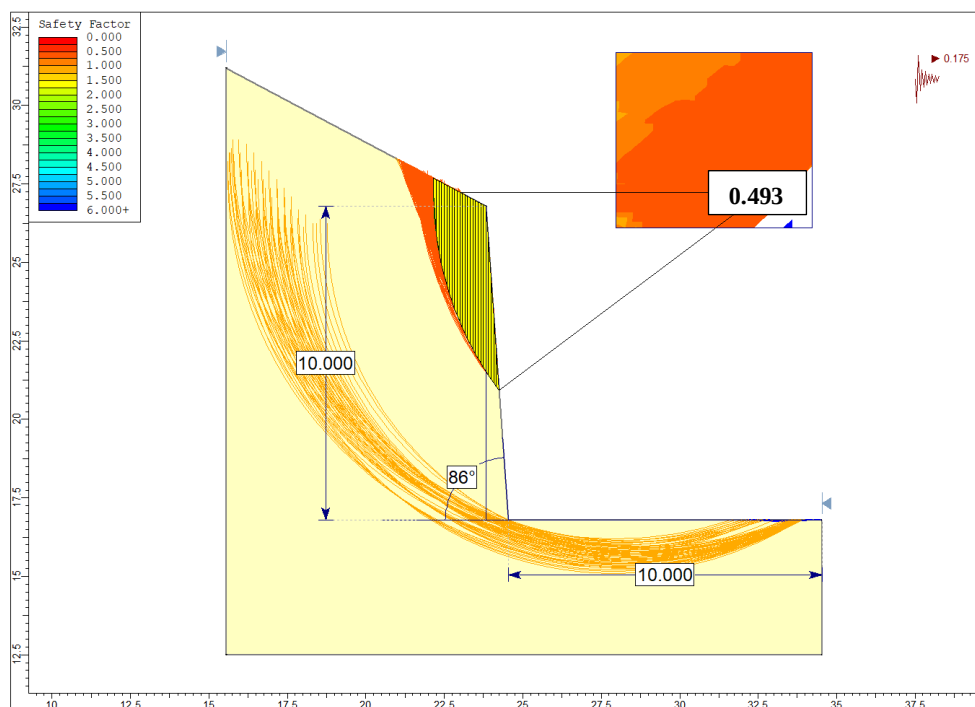


Figura 83: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Spencer/Talud 07

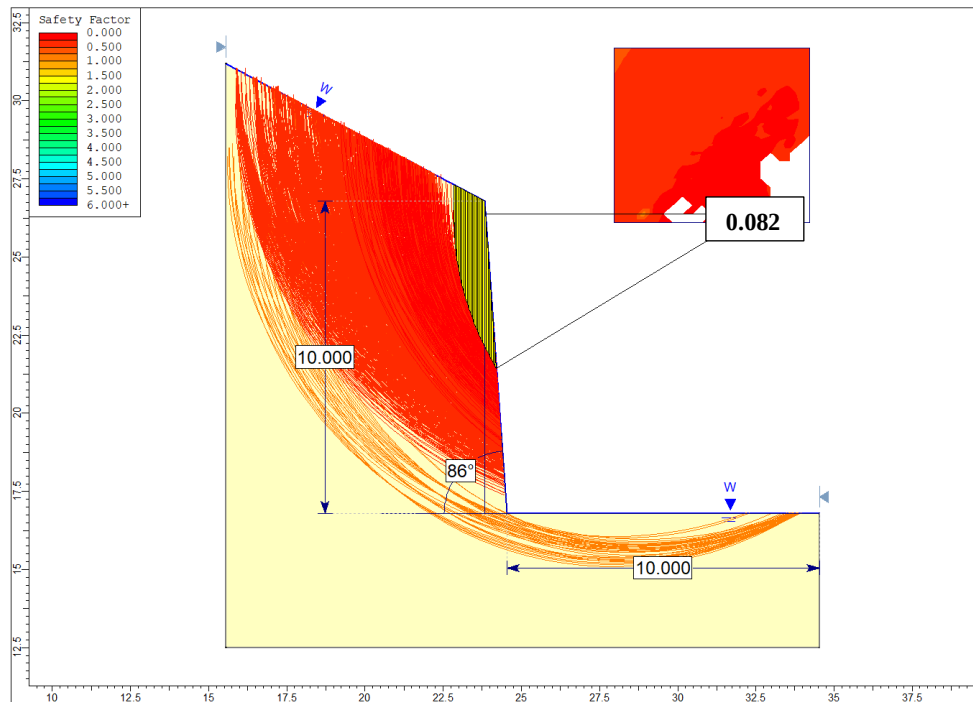


Figura 84: FS en Condiciones Saturadas – Método de Spencer /Talud 07

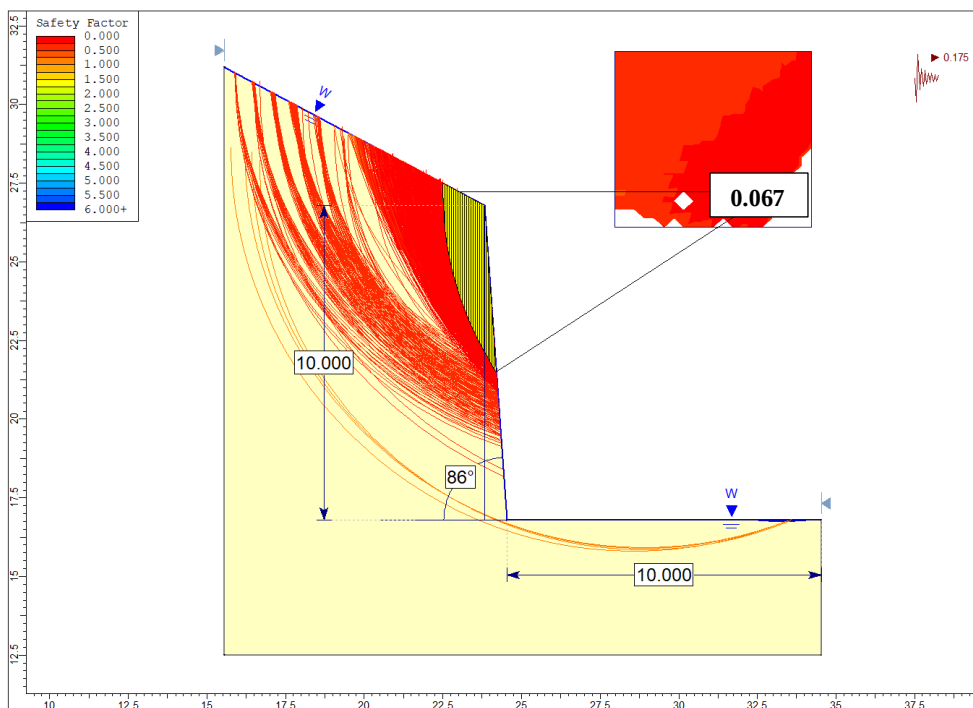


Figura 85: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Spencer /Talud 07

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Morgenstern-Price para la EG-07**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Morgenstern-Price:

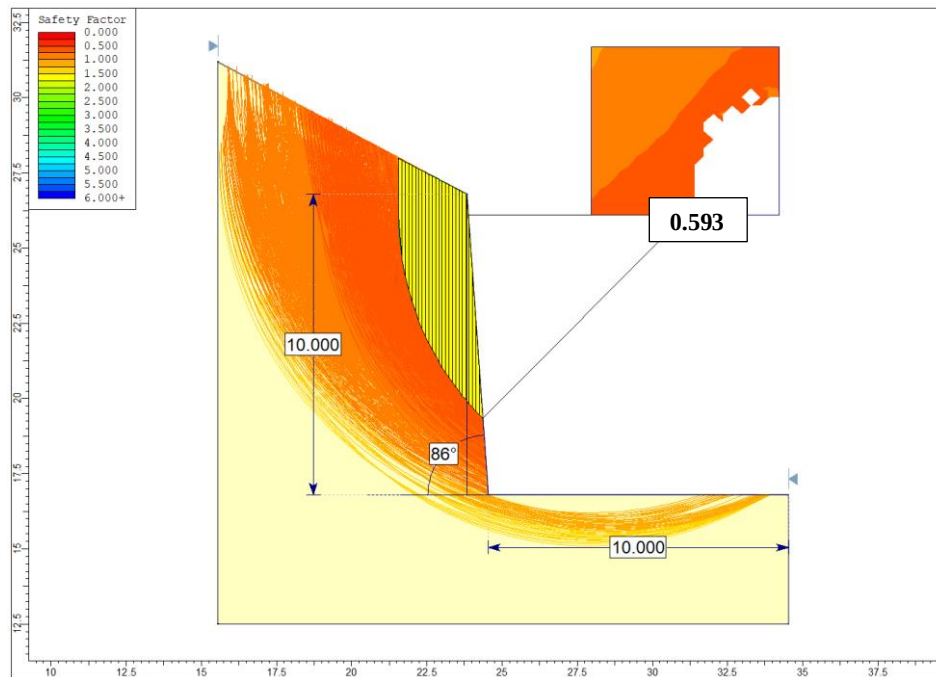


Figura 86: FS en Condiciones Estáticas – Método de Morgenstern-Price /Talud 07

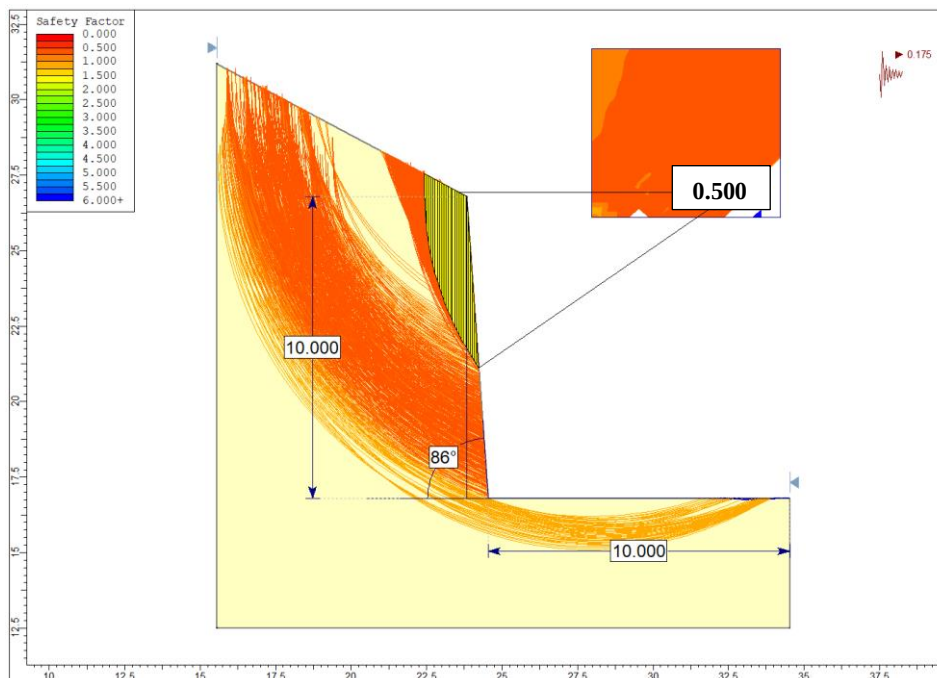


Figura 87: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Morgenstern-Price/Talud 07

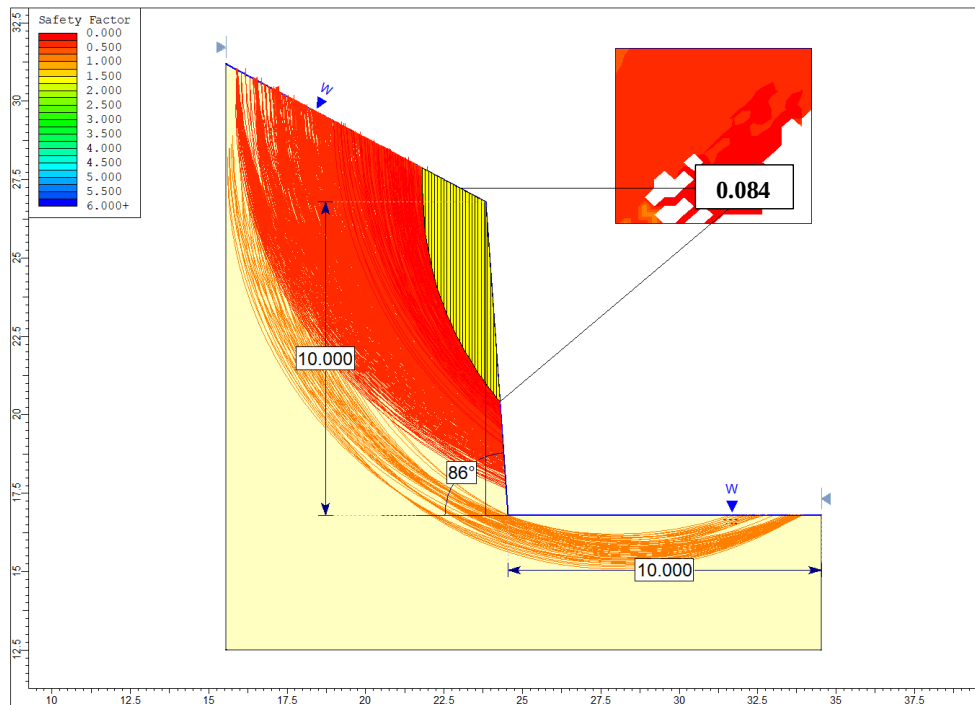


Figura 88: FS en Condiciones Saturadas – Método de Morgenstern-Price /Talud 07

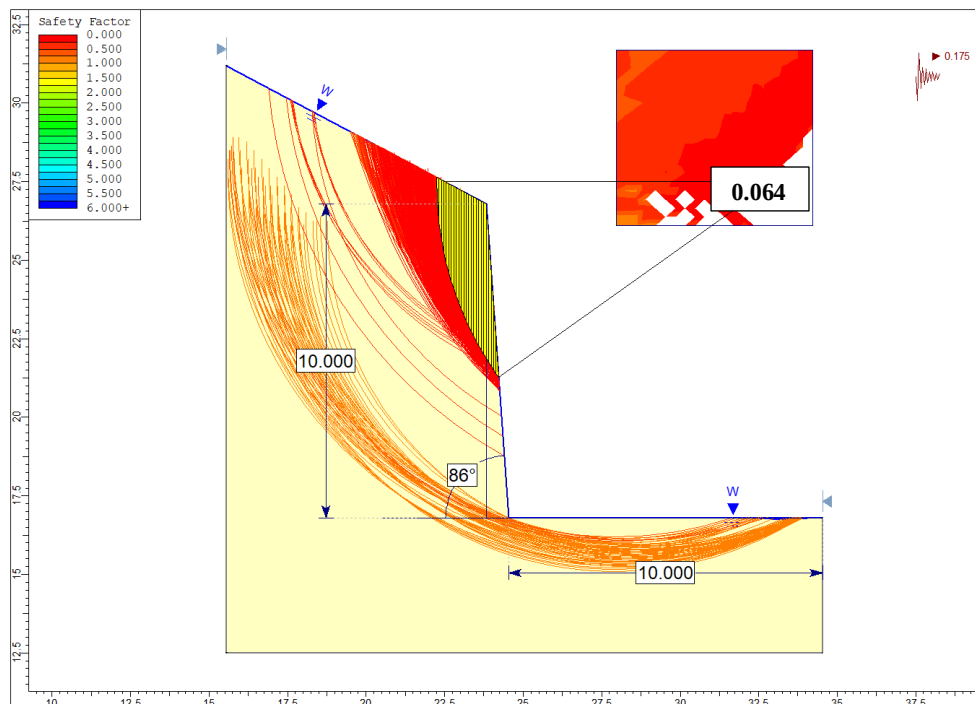
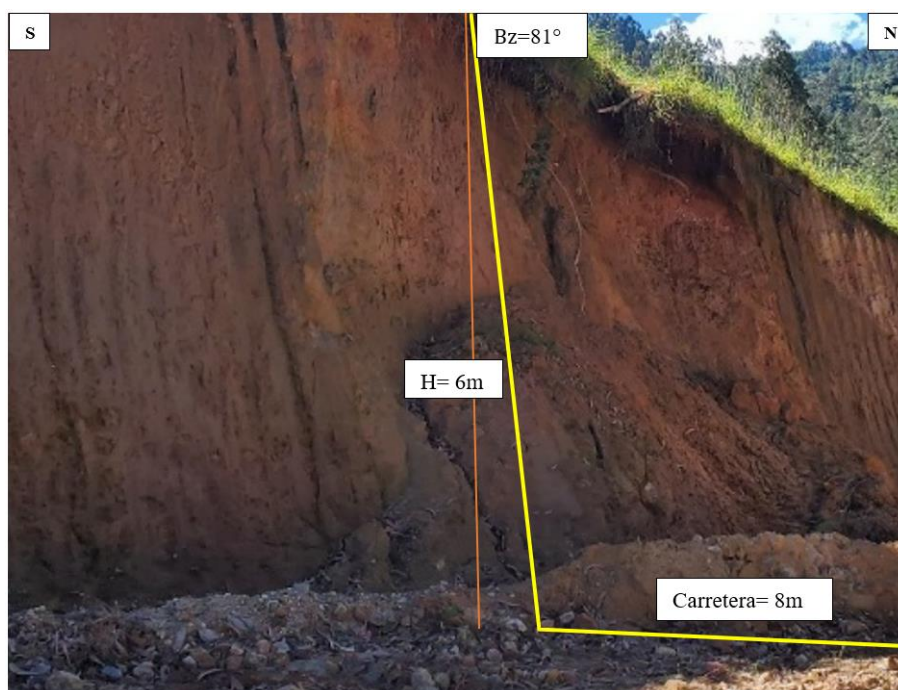


Figura 89: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Morgenstern-Price /Talud 07

➤ **Estación Geotécnica 08 (EG-08)**

Este talud se encuentra situado al margen izquierdo de la carretera, a la progresiva 05+000. Tiene una altura aproximada de 6 metros y presenta una pendiente bastante empinada, con un buzamiento de 81° . En este tramo, la vía posee un ancho de 8 metros. Según los resultados del estudio de mecánica de suelos, el material predominante corresponde a arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, con presencia significativa de partículas finas. Estos suelos se clasifican como CL, conforme al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).



Fotografía 16: Talud 08 en la progresiva 05+000

Tabla 24: Geometría y parámetros de entrada del Talud 08

Geometría del Talud 08	
Altura del Talud (m)	6
Buzamiento ($^\circ$)	81NE
Azimut ($^\circ$)	73
Ancho de la Carretera (m)	8
Parámetros de Entrada para el Cálculo del FS	
Peso Específico (KN/m^3)	18.639
Peso Específico Saturado (KN/m^3)	23.544
Cohesión (Kpa)	25
Ángulo de Fricción ($^\circ$)	24
Coeficiente Sísmico (Kh)	0.175

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Bishop para la EG-08**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Bishop:

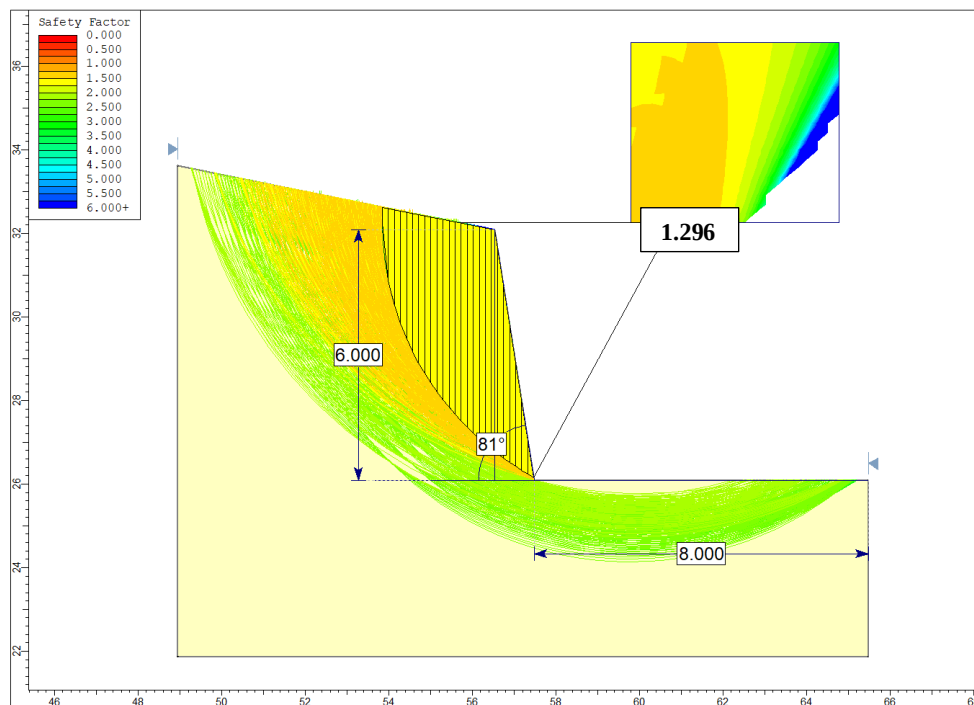


Figura 90: FS en Condiciones Estáticas – Método de Bishop/Talud 08

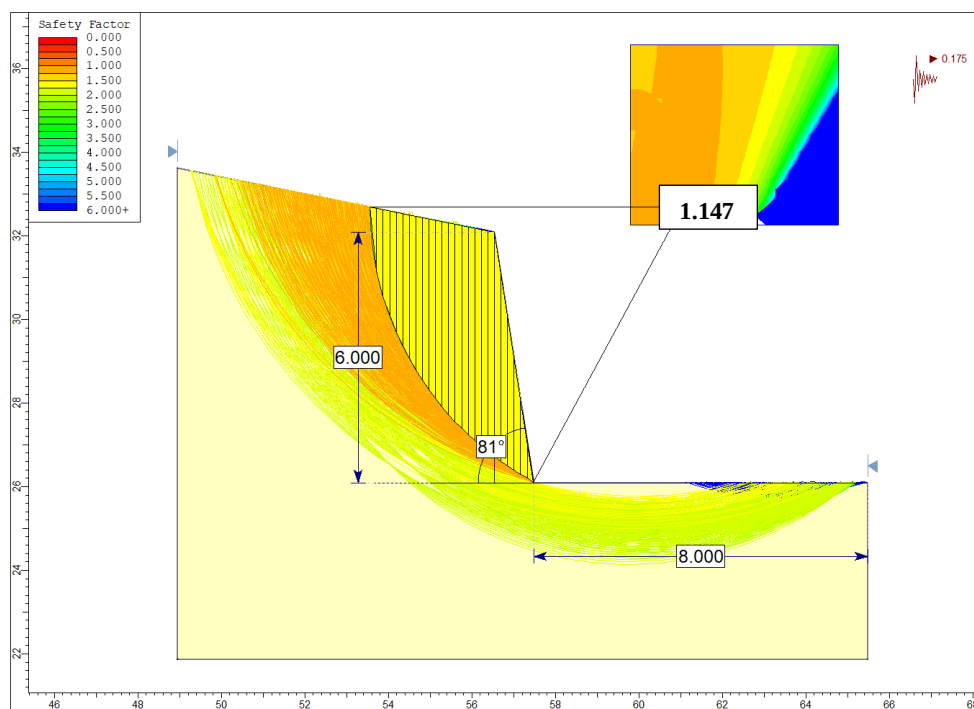


Figura 91: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Bishop/Talud 08

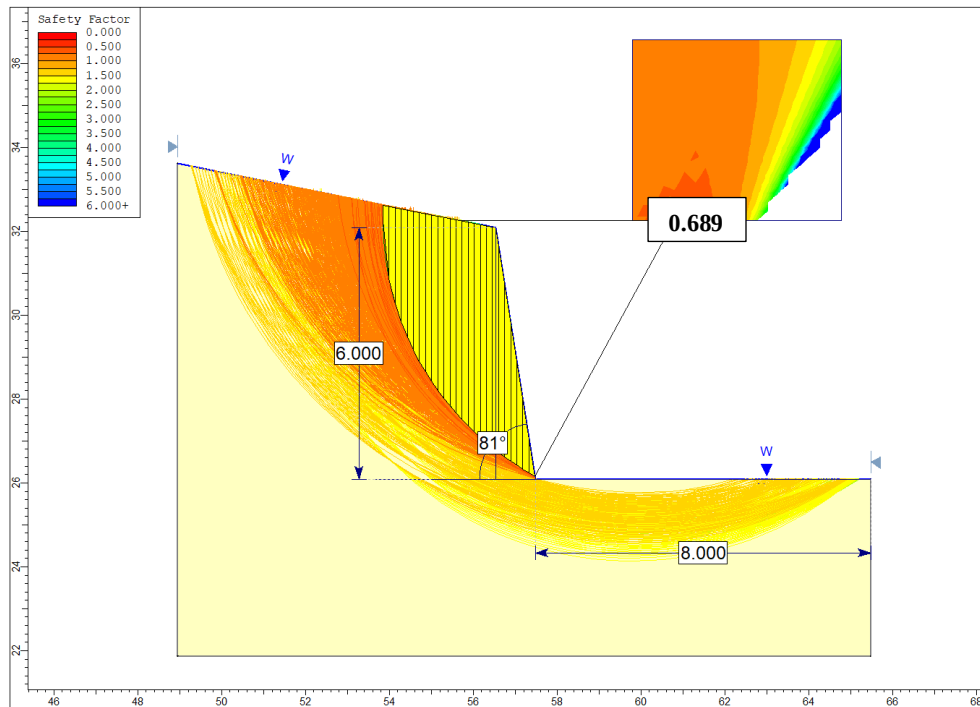


Figura 92: FS en Condiciones Saturadas – Método de Bishop/Talud 08

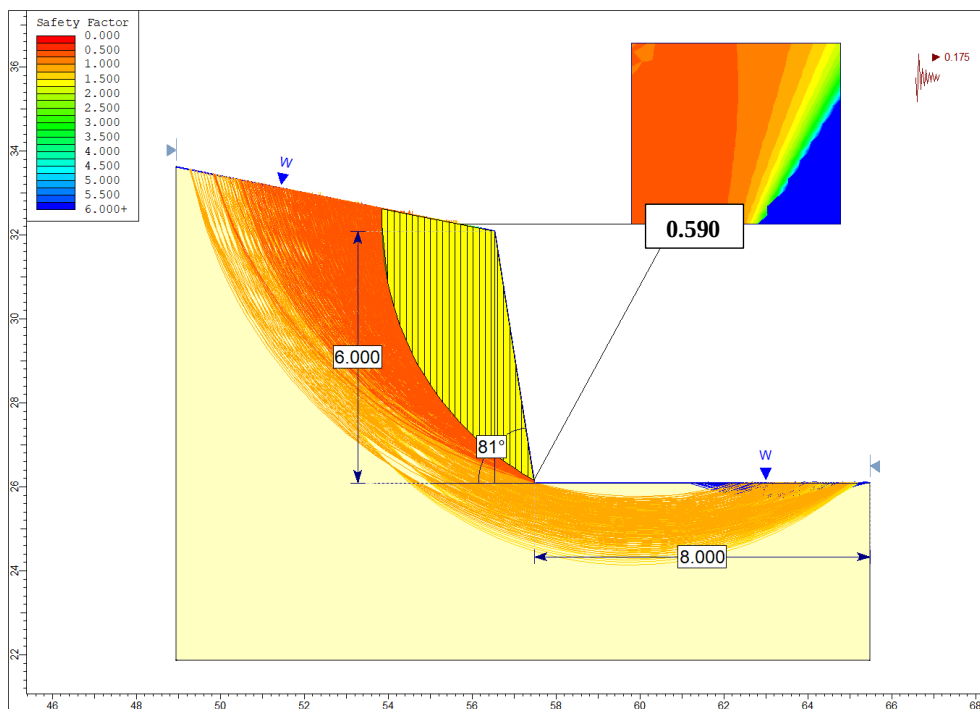


Figura 93: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Bishop/Talud 08

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Spencer para la EG-08**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Spencer:

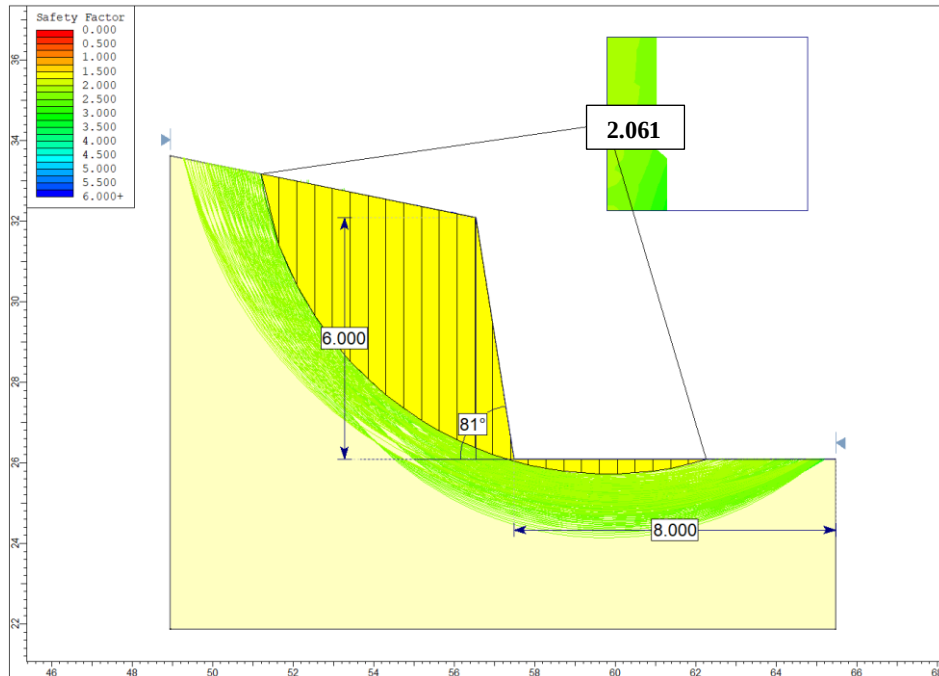


Figura 94: FS en Condiciones Estáticas – Método de Spencer/Talud 08

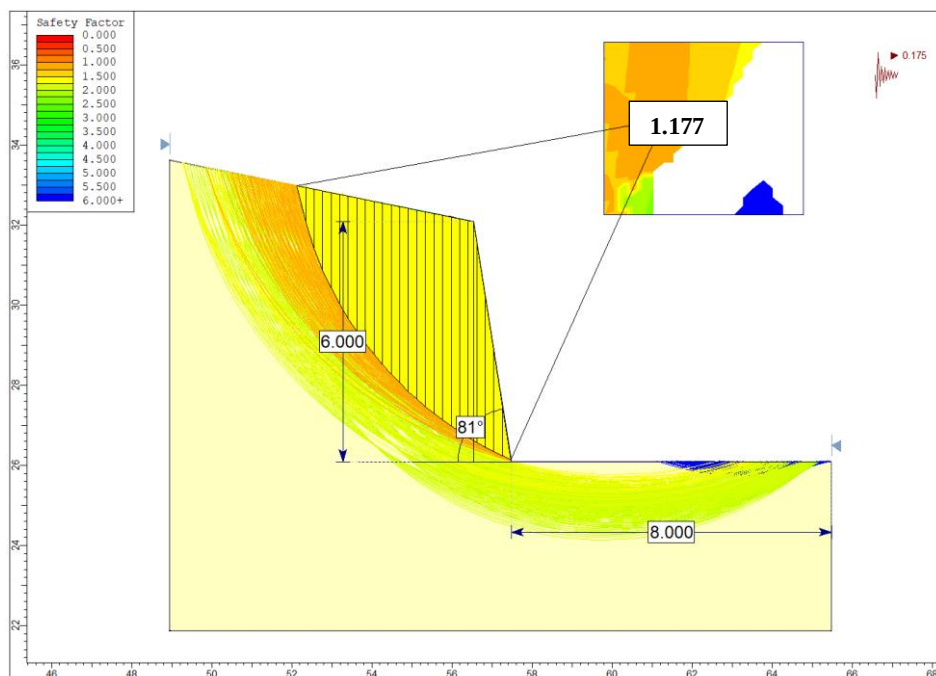


Figura 95: FS en Condiciones Pseudoestáticas –Método de Spencer/Talud 08

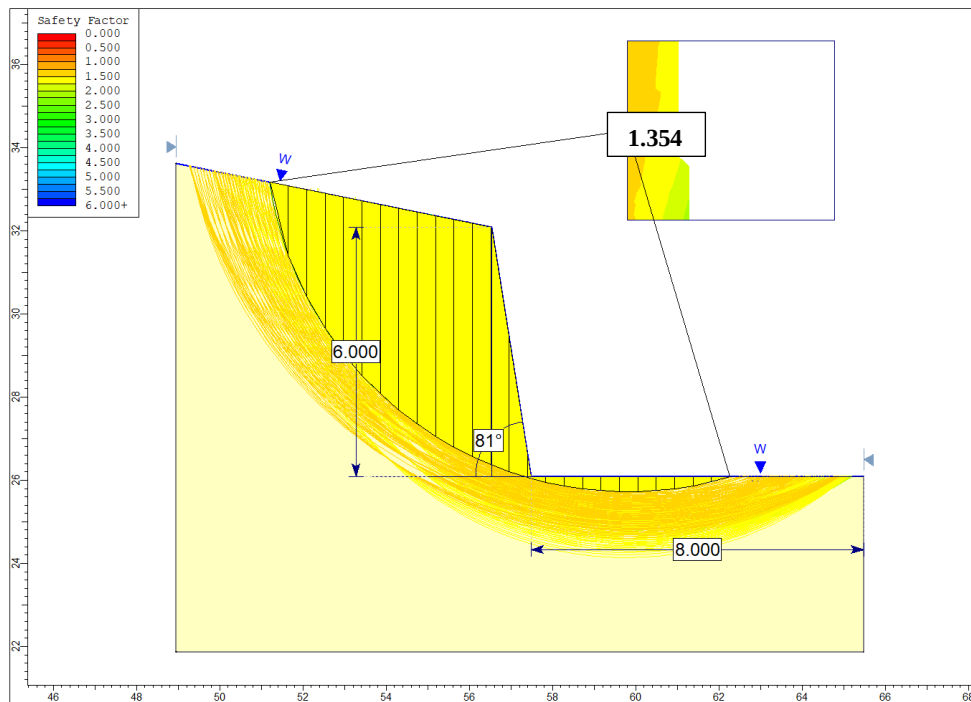


Figura 96: FS en Condiciones Saturadas – Método de Spencer /Talud 08

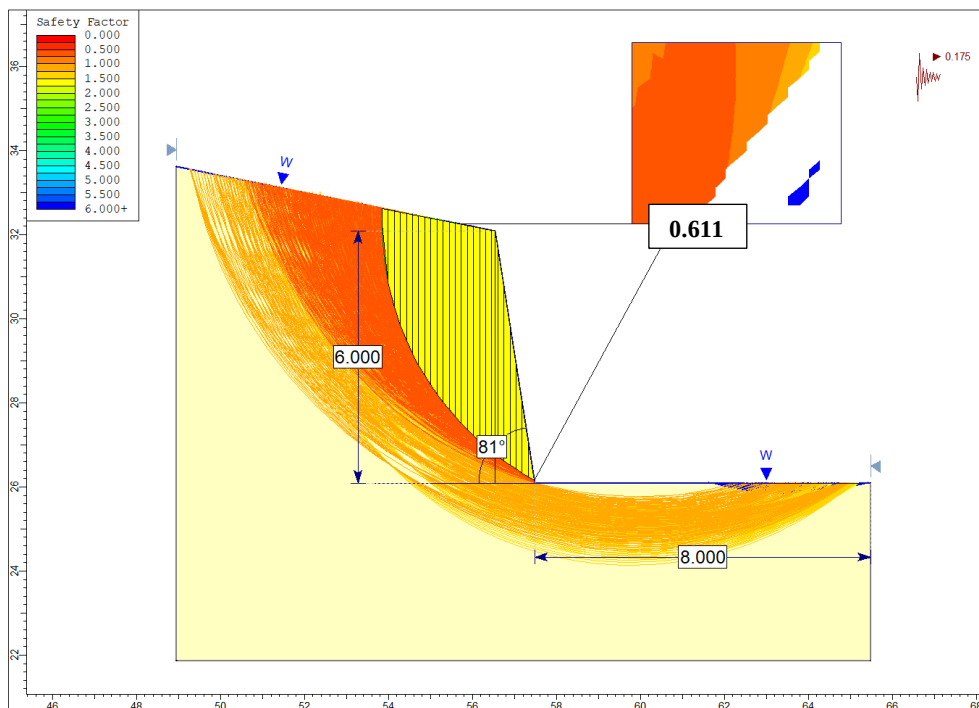


Figura 97: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Spencer /Talud 08

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Morgenstern-Price para la EG-08**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Morgenstern-Price

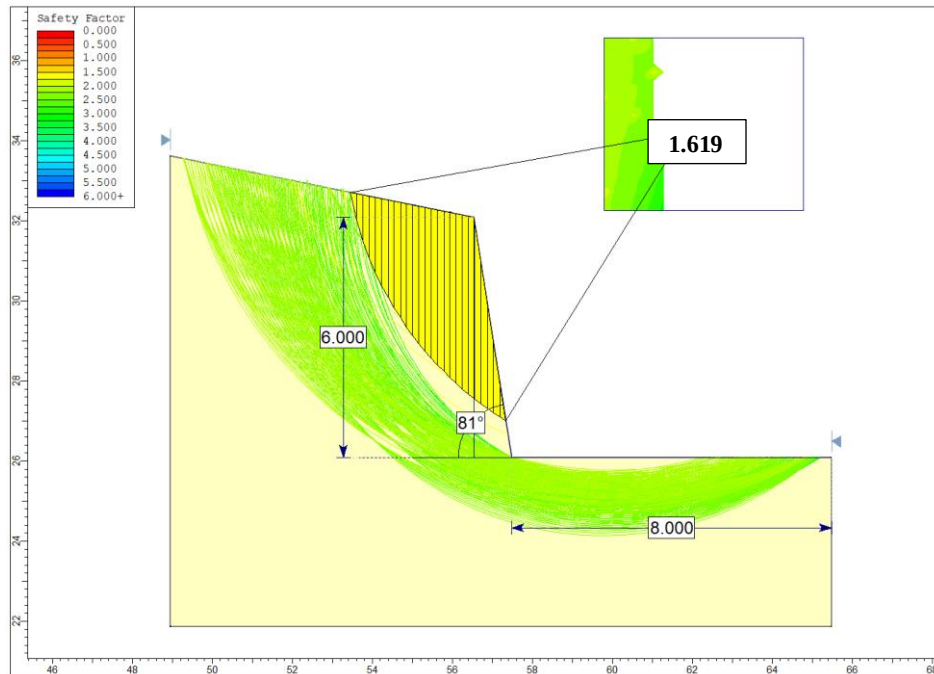


Figura 98: FS en Condiciones Estáticas – Método de Morgenstern-Price /Talud 08

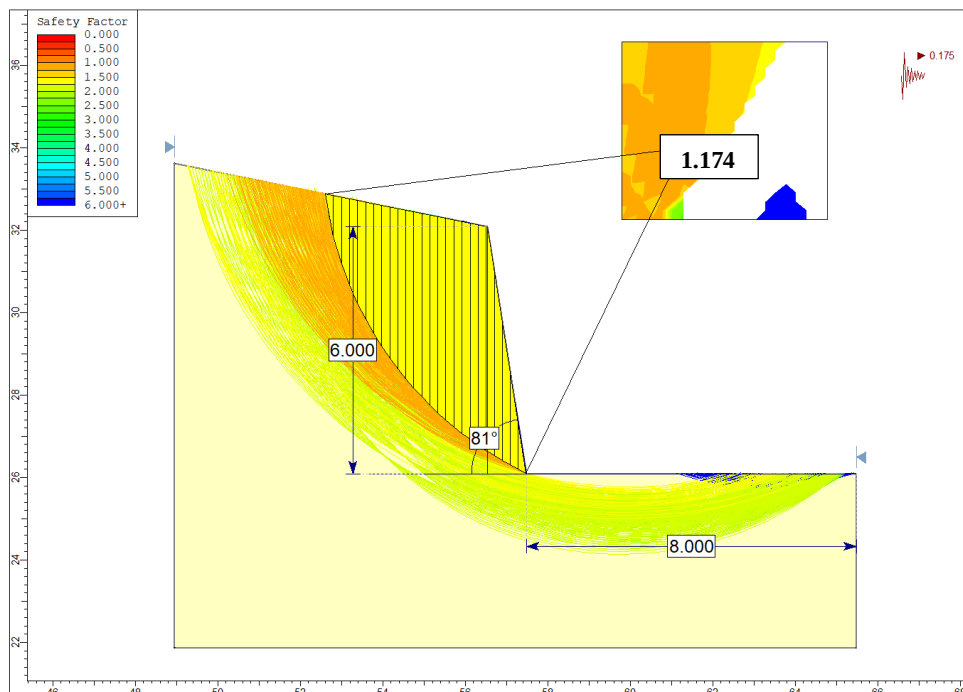


Figura 99: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Morgenstern-Price/Talud 08

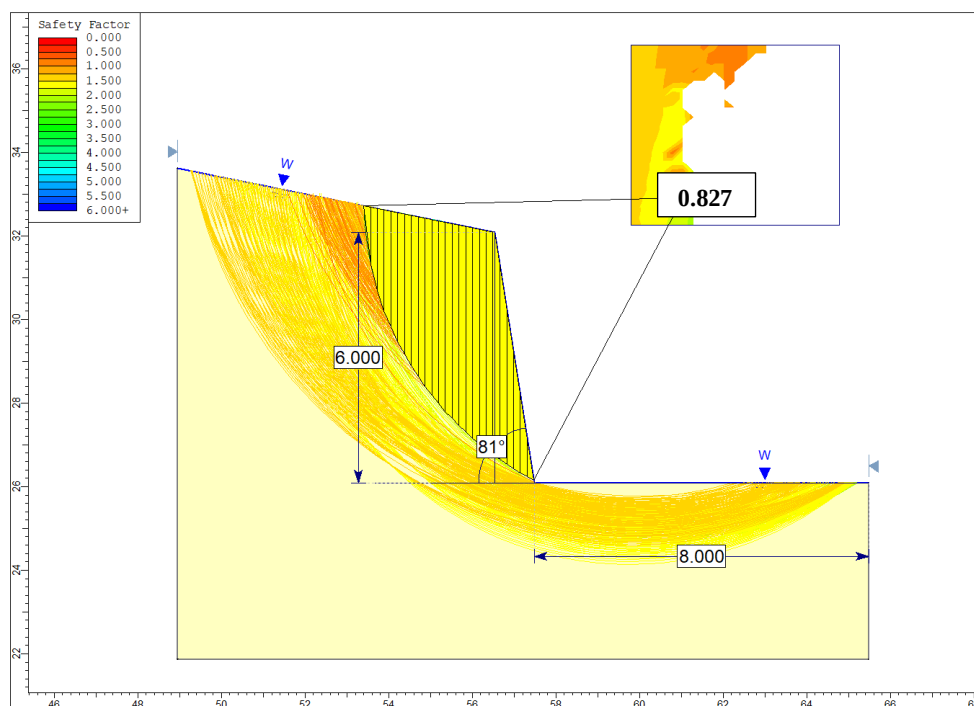


Figura 100: FS en Condiciones Saturadas – Método de Morgenstern-Price /Talud 08

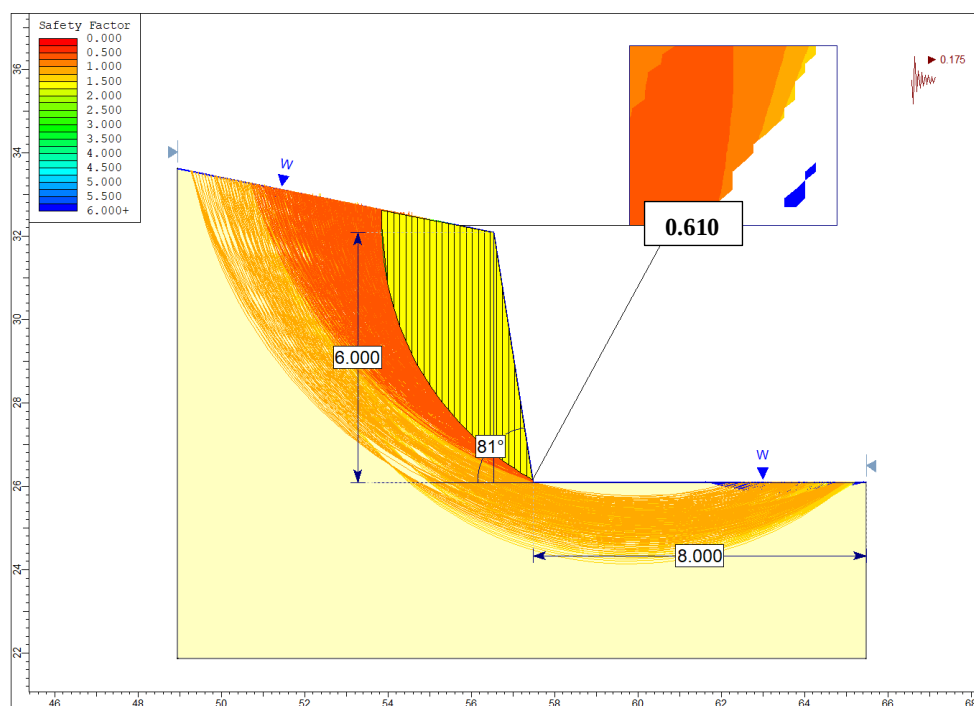


Figura 101: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Morgenstern-Price /Talud 08

➤ **Estación Geotécnica 09 (EG-09)**

El talud se ubica al lado izquierdo de la vía, a la progresiva 05+500. Presenta una altura aproximada de 6.5 metros y una pendiente muy inclinada, con un ángulo de buzamiento de 82°. En este sector, la carretera cuenta con un ancho de 9 metros. Con base en los resultados del estudio de mecánica de suelos, se determinó que el terreno está compuesto por limos inorgánicos y arenas muy finas, incluyendo limos arcillosos con ligera plasticidad. Este tipo de suelo corresponde a la clasificación ML según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).



Fotografía 17: Talud 09 en la progresiva 05+500

Tabla 25: Geometría y parámetros de entrada del Talud 09

Geometría del Talud 09	
Altura del Talud (m)	6.5
Buzamiento (°)	82 NW
Azimut (°)	338
Ancho de la Carretera (m)	9
Parámetros de Entrada para el Cálculo del FS	
Peso Específico (KN/m ³)	17.170
Peso Específico Saturado (KN/m ³)	19.620
Cohesión (Kpa)	15
Ángulo de Fricción (°)	28
Coefficiente Sísmico (Kh)	0.175

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Bishop para la EG-09**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Bishop:

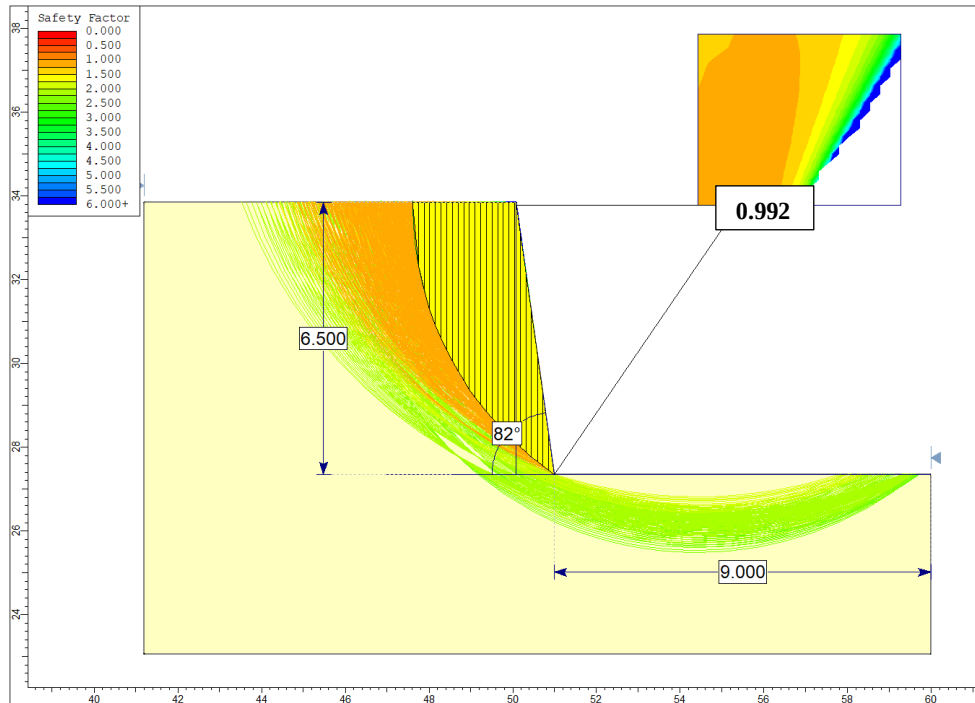


Figura 102: FS en Condiciones Estáticas – Método de Bishop/Talud 09

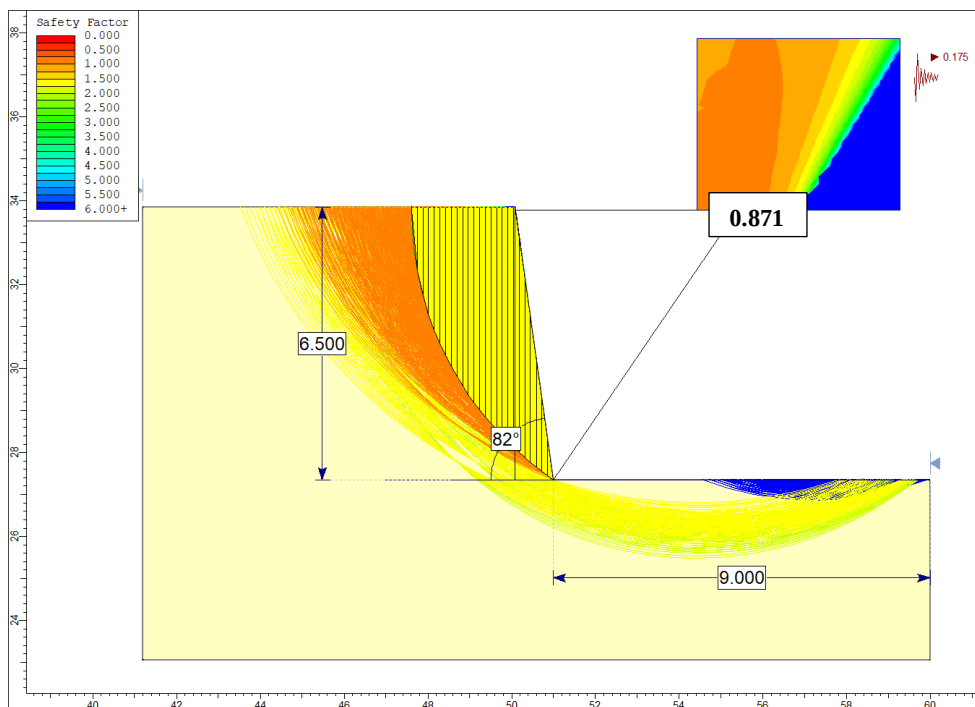


Figura 103: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Bishop/Talud 09

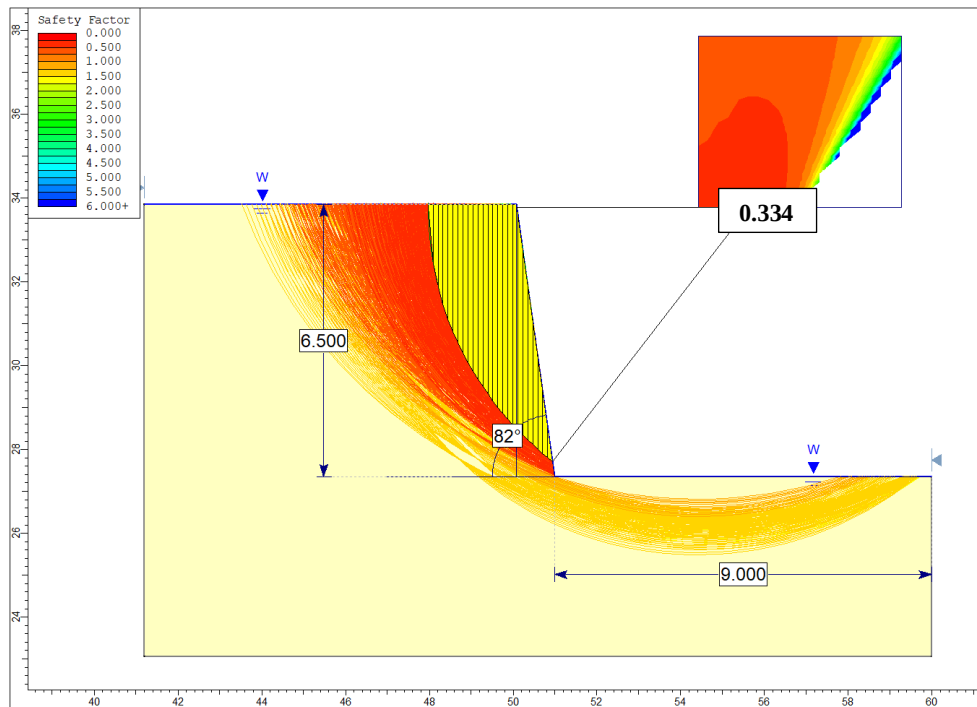


Figura 104: FS en Condiciones Saturadas – Método de Bishop/Talud 09

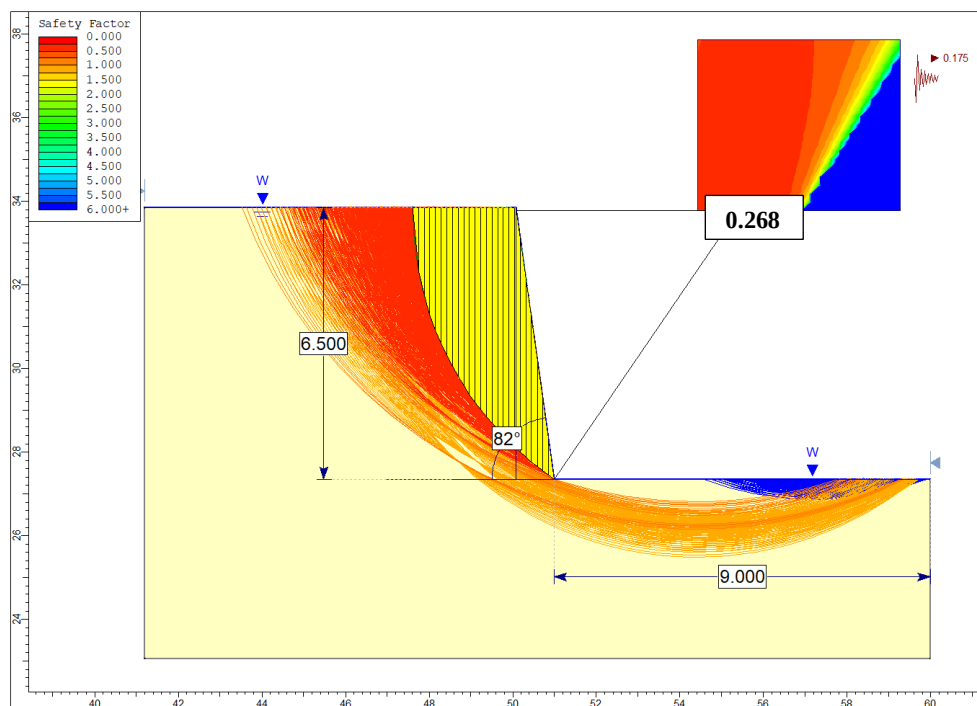


Figura 105: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Bishop/Talud 09

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Spencer para la EG-09**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Spencer:

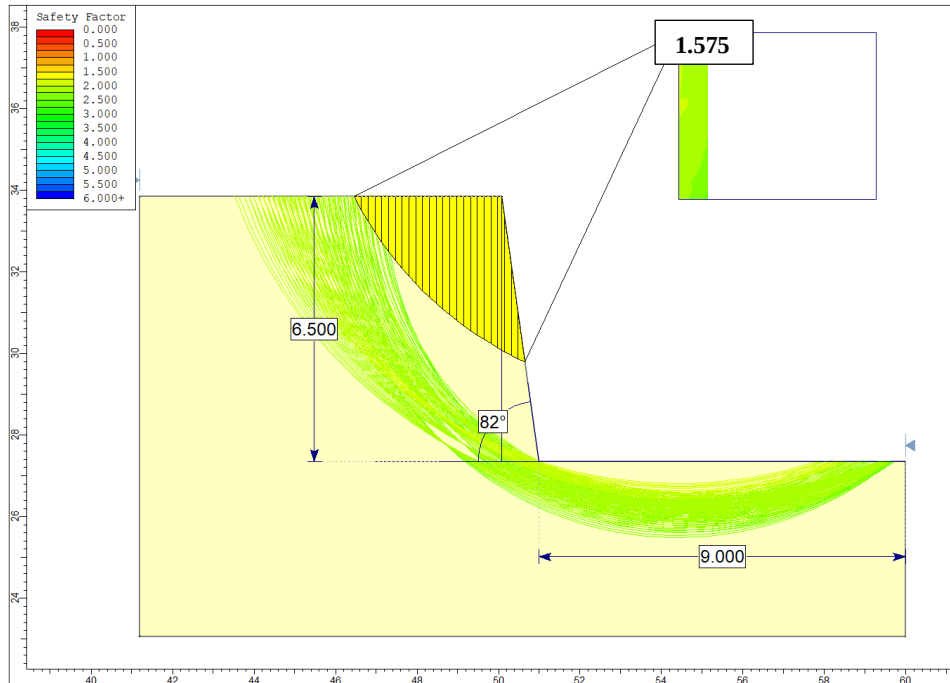


Figura 106: FS en Condiciones Estáticas – Método de Spencer/Talud 09

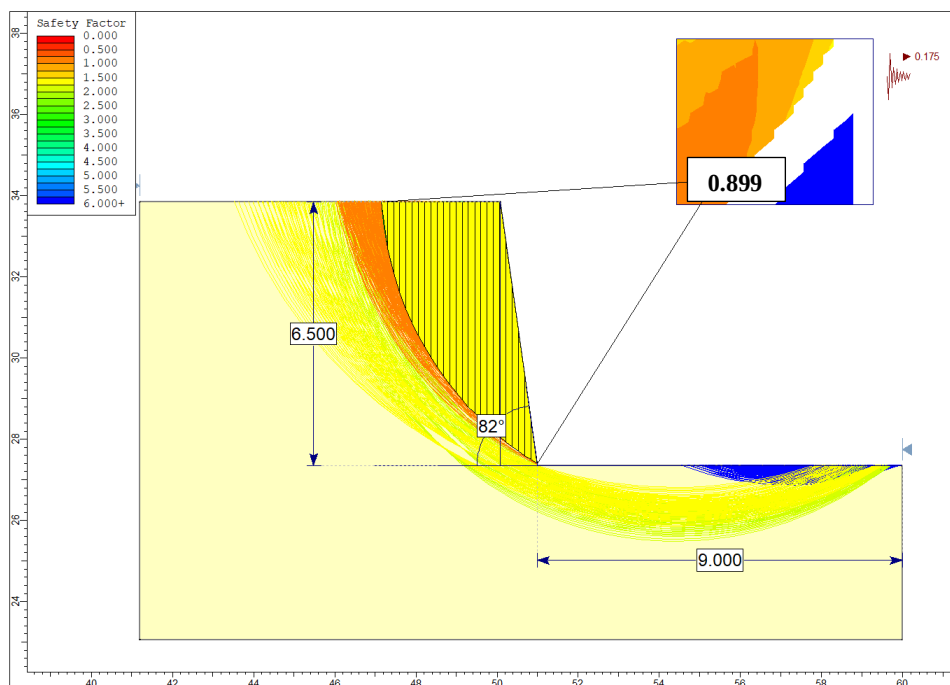


Figura 107: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Spencer/Talud 09

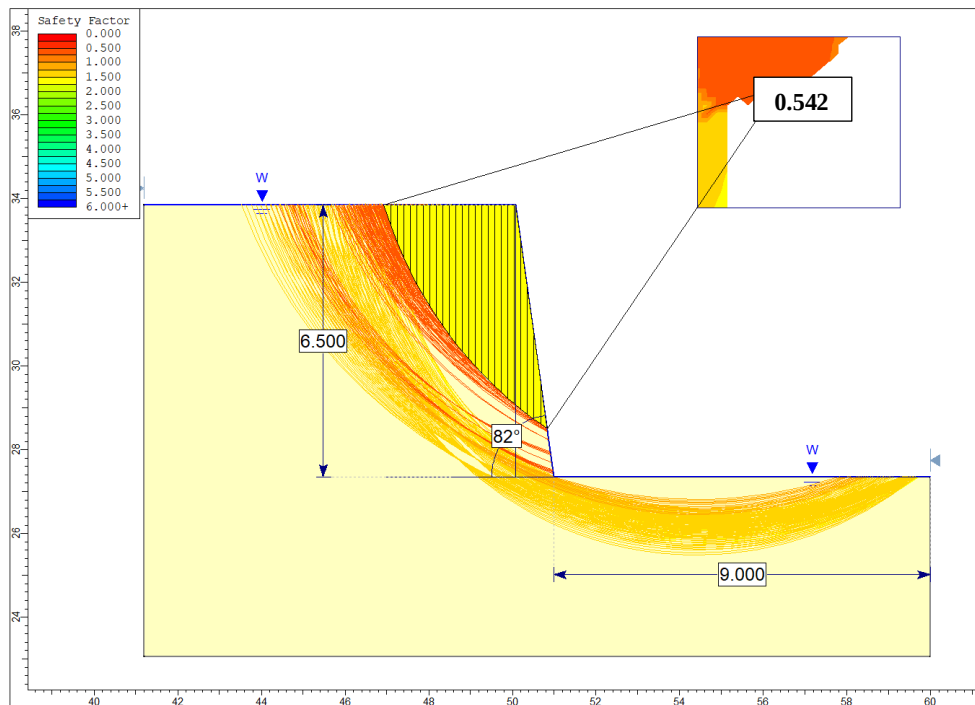


Figura 108: FS en Condiciones Saturadas – Método de Spencer /Talud 09

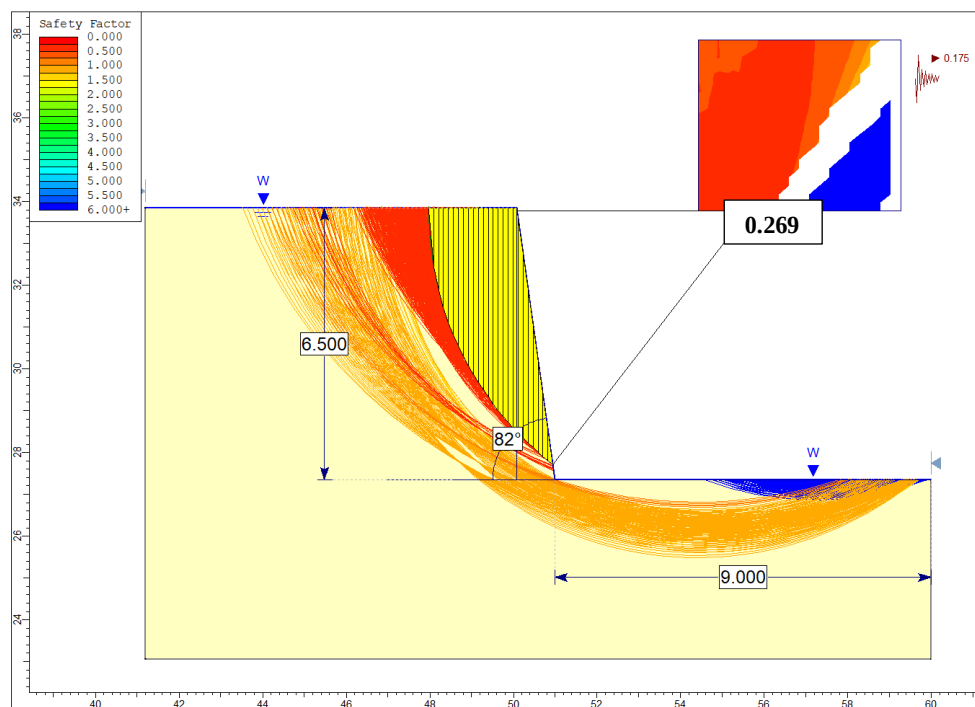


Figura 109: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Spencer /Talud 09

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Morgenstern-Price para la EG-09**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Morgenstern-Price

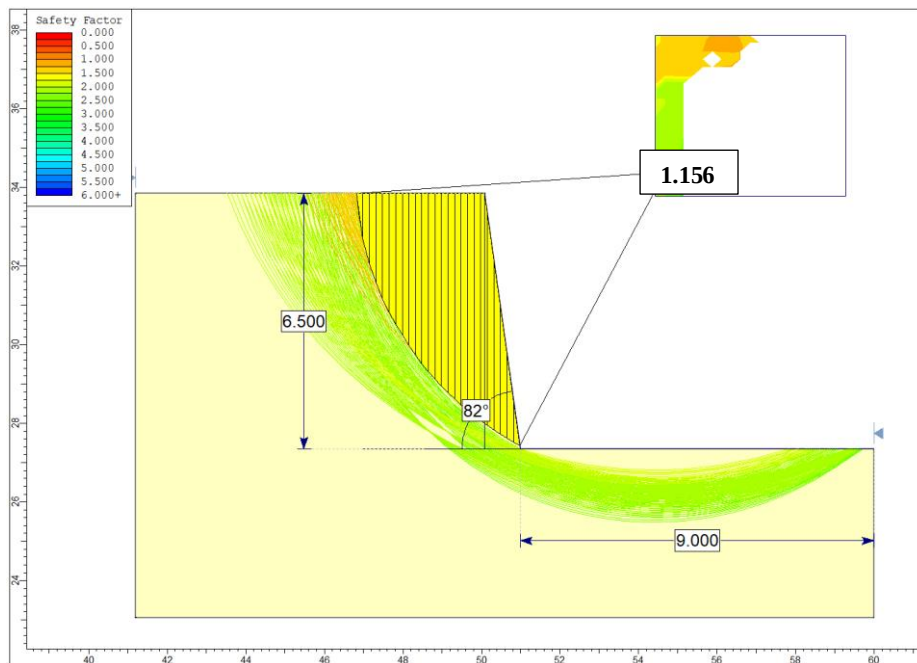


Figura 110: FS en Condiciones Estáticas – Método de Morgenstern-Price /Talud 09

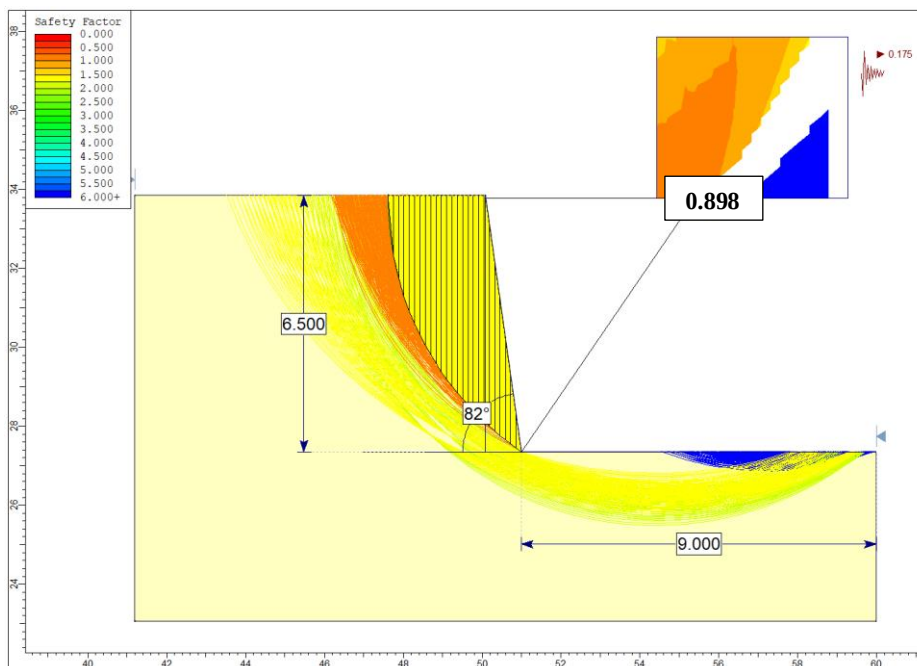


Figura 111: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Morgenstern-Price/Talud 09

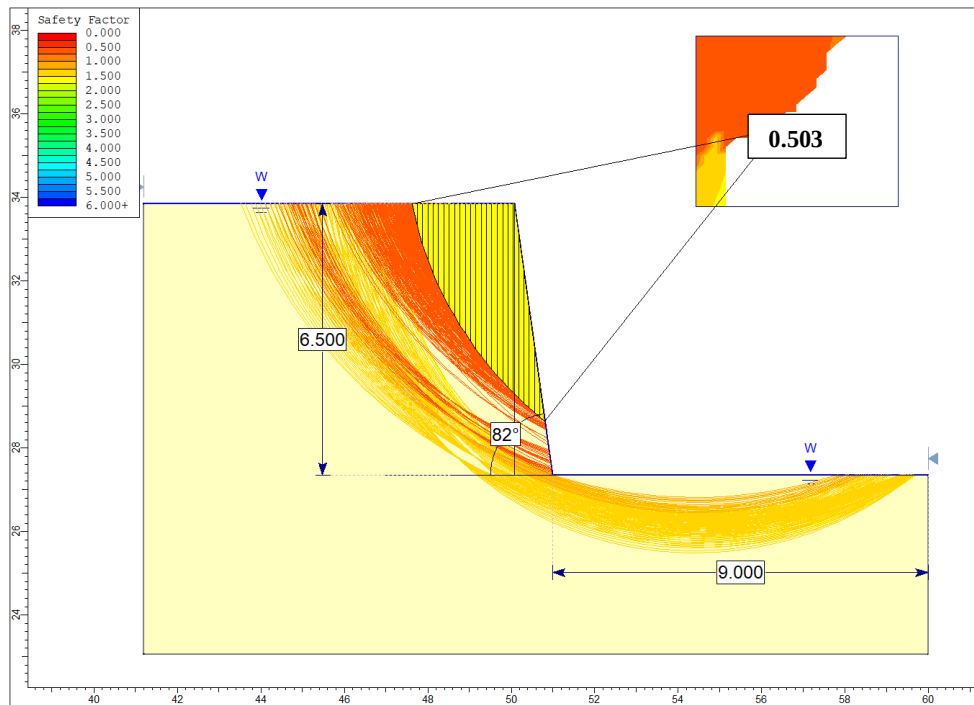


Figura 112: FS en Condiciones Saturadas – Método de Morgenstern-Price /Talud 09

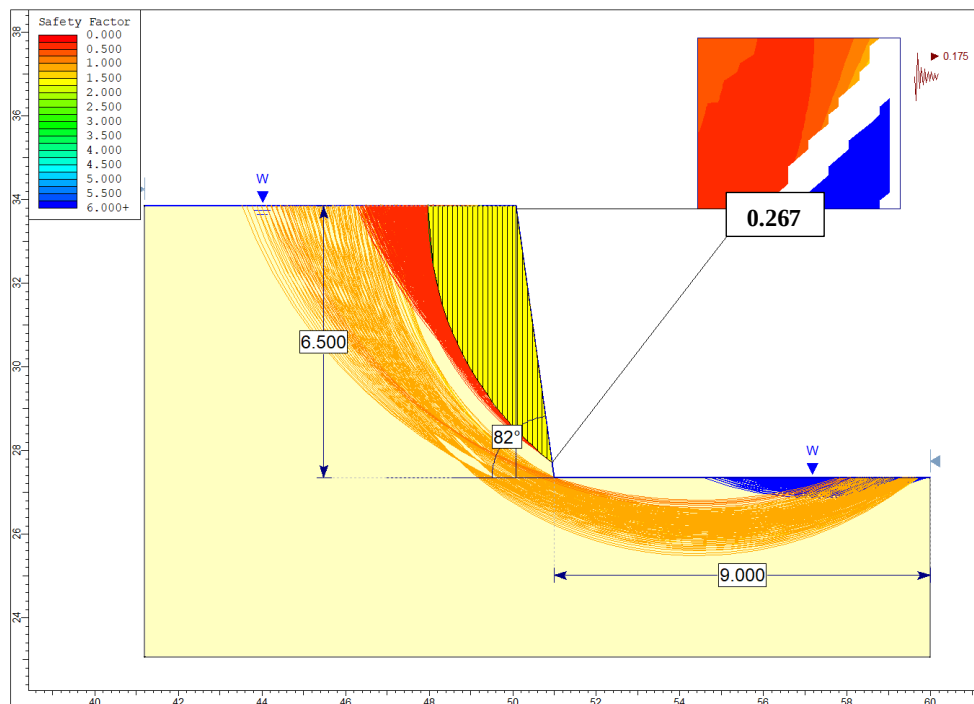
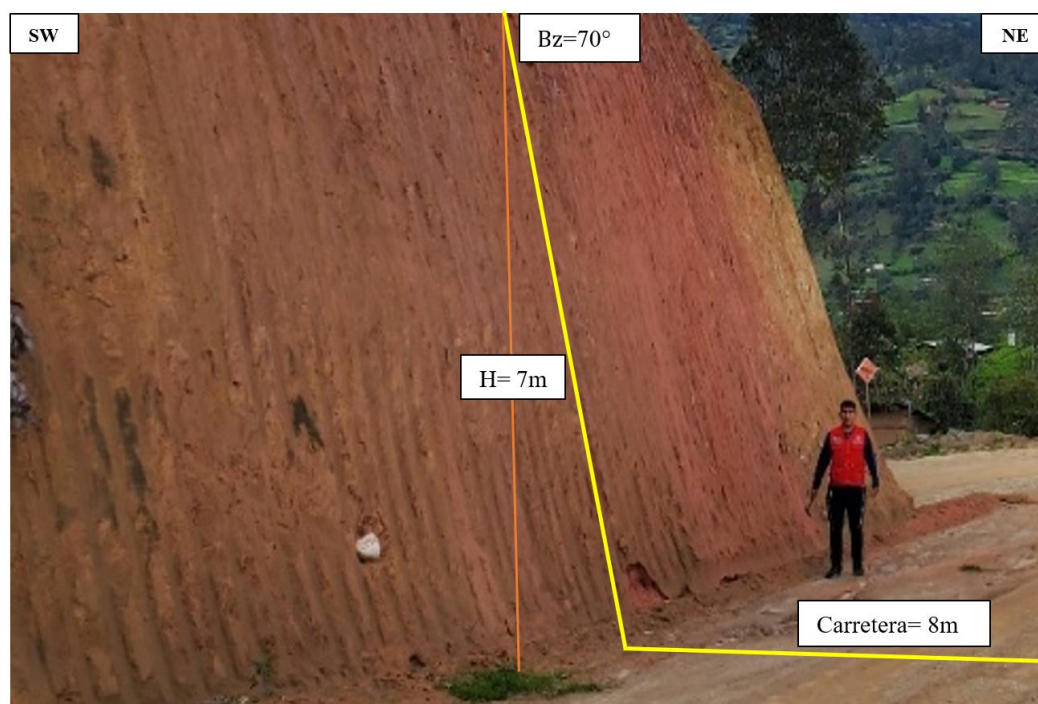


Figura 113: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Morgenstern-Price /Talud 09

➤ **Estación Geotécnica 10 (EG-10)**

El talud se localiza al lado izquierdo de la carretera, a la progresiva 06+000. Presenta una altura aproximada de 7 metros y un ángulo de inclinación de 70° , lo que representa una pendiente empinada pero moderada. La vía, en este sector, cuenta con un ancho de 8 metros. De acuerdo con los resultados del estudio de mecánica de suelos, el material que conforma el talud corresponde a arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, comúnmente conocidas como arcillas limosas. Este tipo de suelo se clasifica como CL según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).



Fotografía 18: Talud 10 en la progresiva 06+000

Tabla 26: Geometría y parámetros de entrada del Talud 10

Geometría del Talud 10	
Altura del Talud (m)	7
Buzamiento ($^\circ$)	70 NW
Azimut ($^\circ$)	274
Ancho de la Carretera (m)	8
Parámetros de Entrada para el Cálculo del FS	
Peso Específico (KN/m^3)	18.639
Peso Específico Saturado (KN/m^3)	23.544
Cohesión (Kpa)	25
Ángulo de Fricción ($^\circ$)	24
Coeficiente Sísmico (K_h)	0.175

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Bishop para la EG-10**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Bishop:

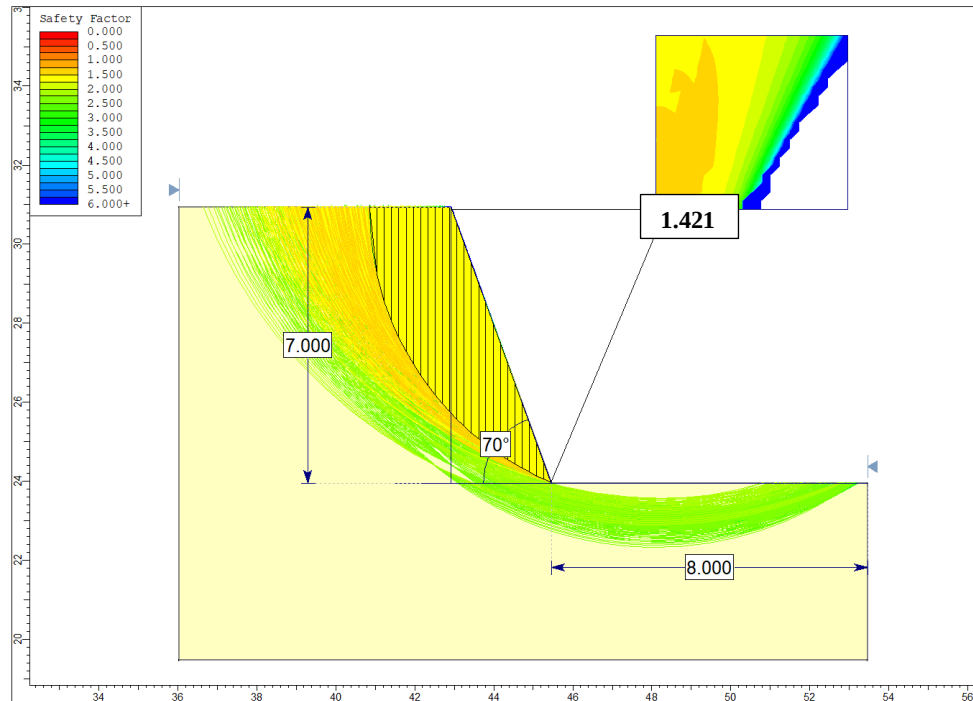


Figura 114: FS en Condiciones Estáticas – Método de Bishop/Talud 10

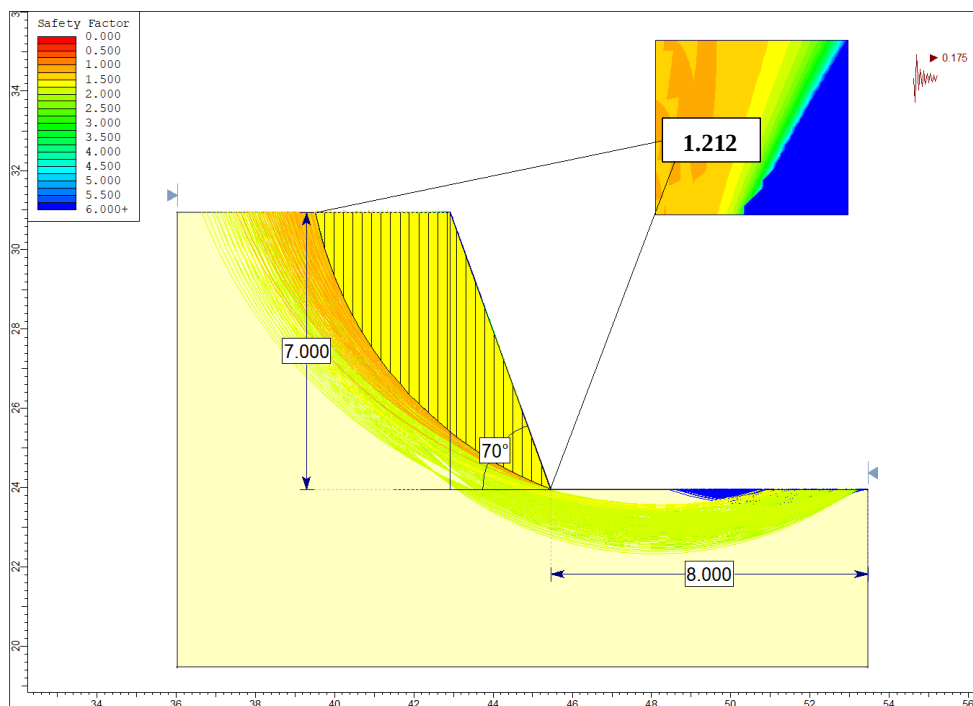


Figura 115: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Bishop/Talud 10

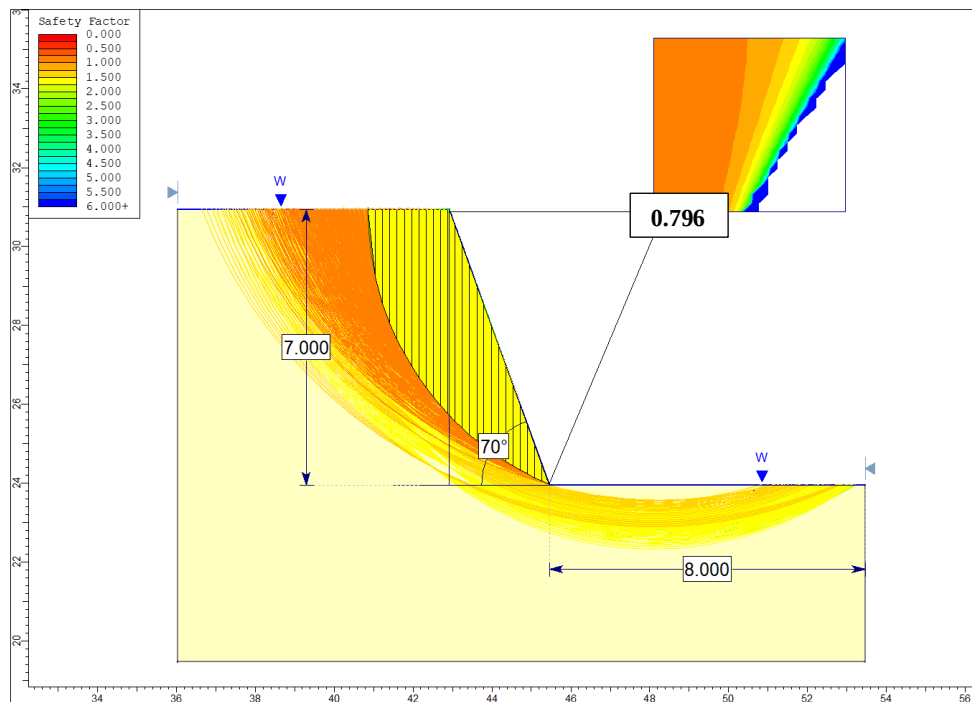


Figura 116: FS en Condiciones Saturadas – Método de Bishop/Talud 10

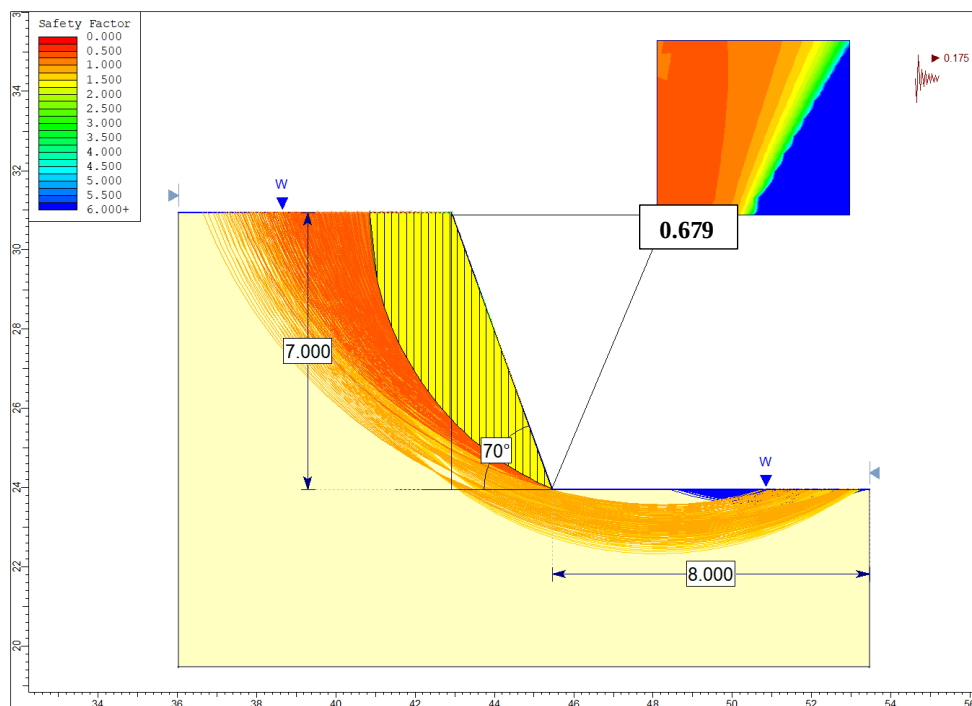


Figura 117: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Bishop/Talud 10

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Spencer para la EG-10**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Spencer:

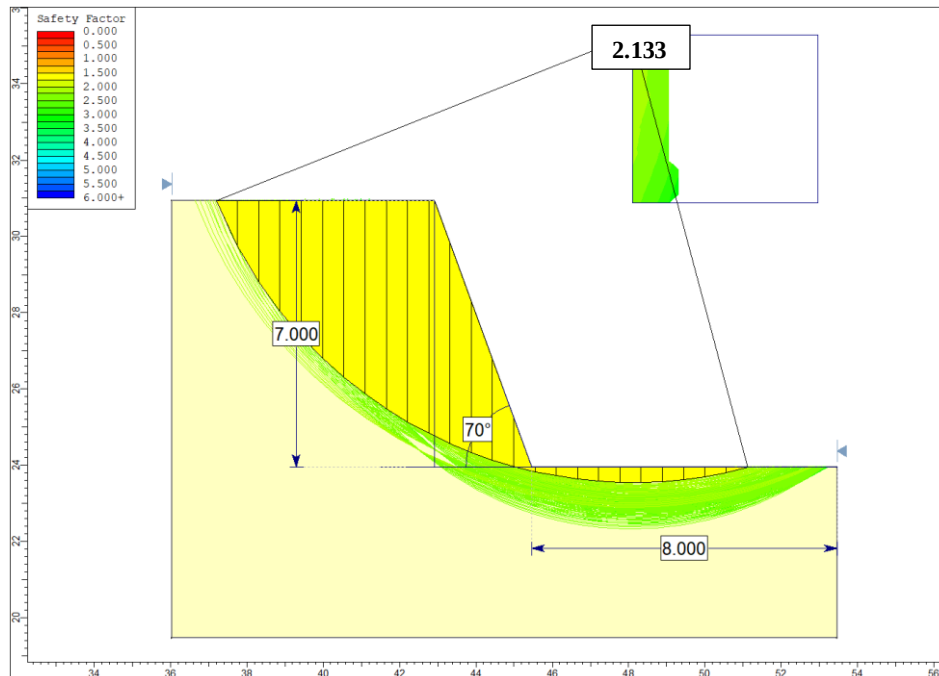


Figura 118: FS en Condiciones Estáticas – Método de Spencer/Talud 10

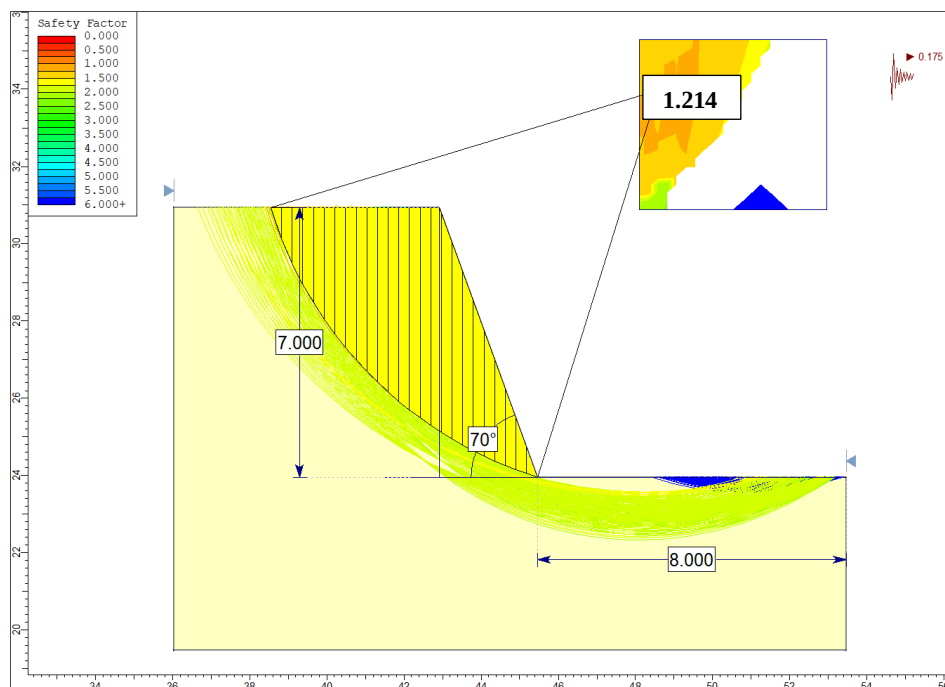


Figura 119: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Spencer/Talud 10

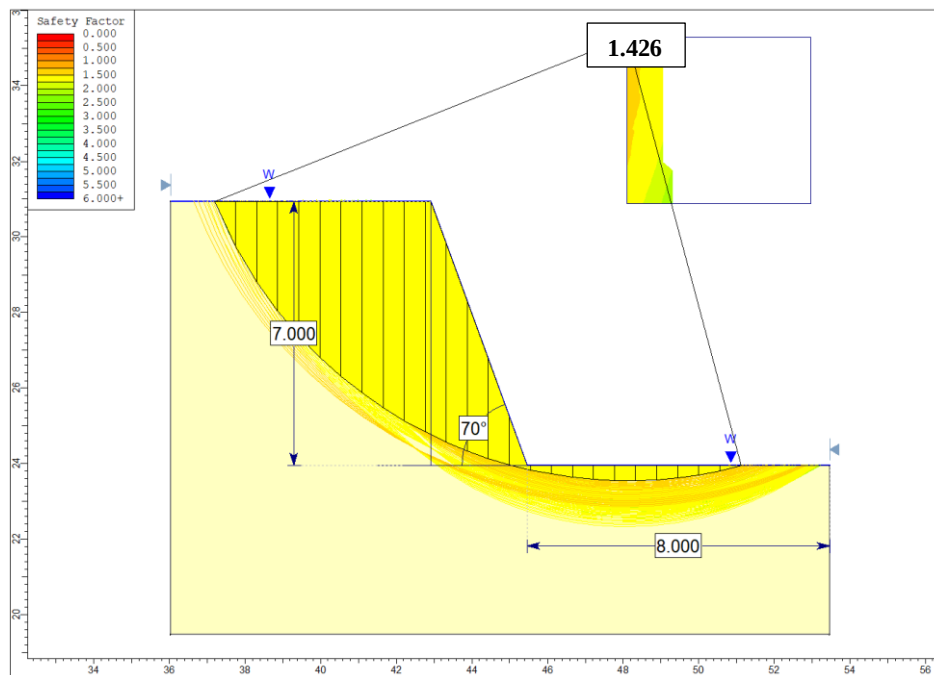


Figura 120: FS en Condiciones Saturadas – Método de Spencer /Talud 10

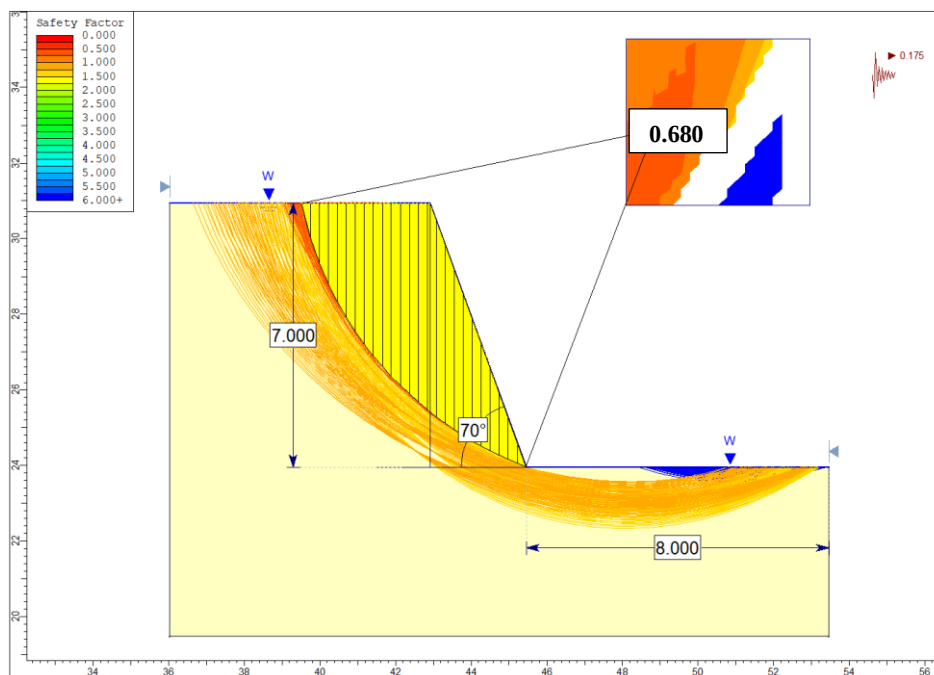


Figura 121: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Spencer /Talud 10

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Morgenstern-Price para la EG-010**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Morgenstern-Price

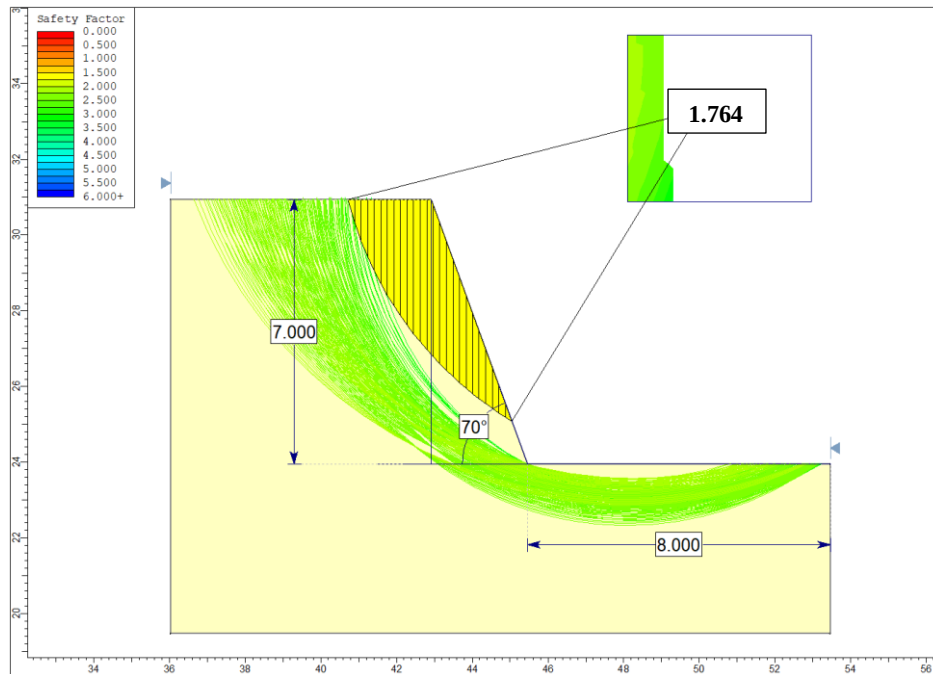


Figura 122: FS en Condiciones Estáticas – Método de Morgenstern-Price /Talud 10

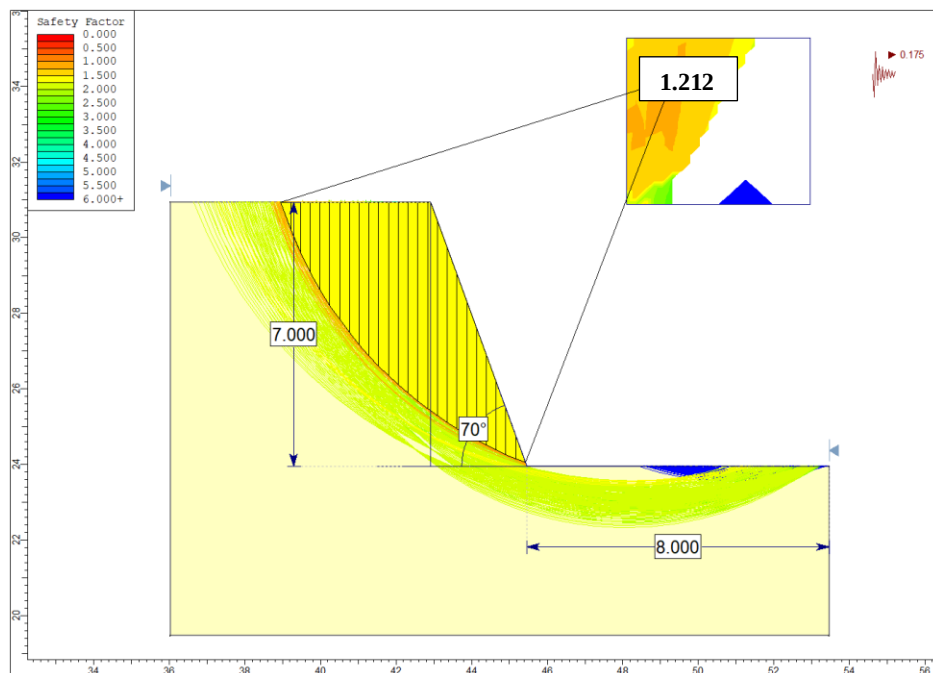


Figura 123: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Morgenstern-Price/Talud 10

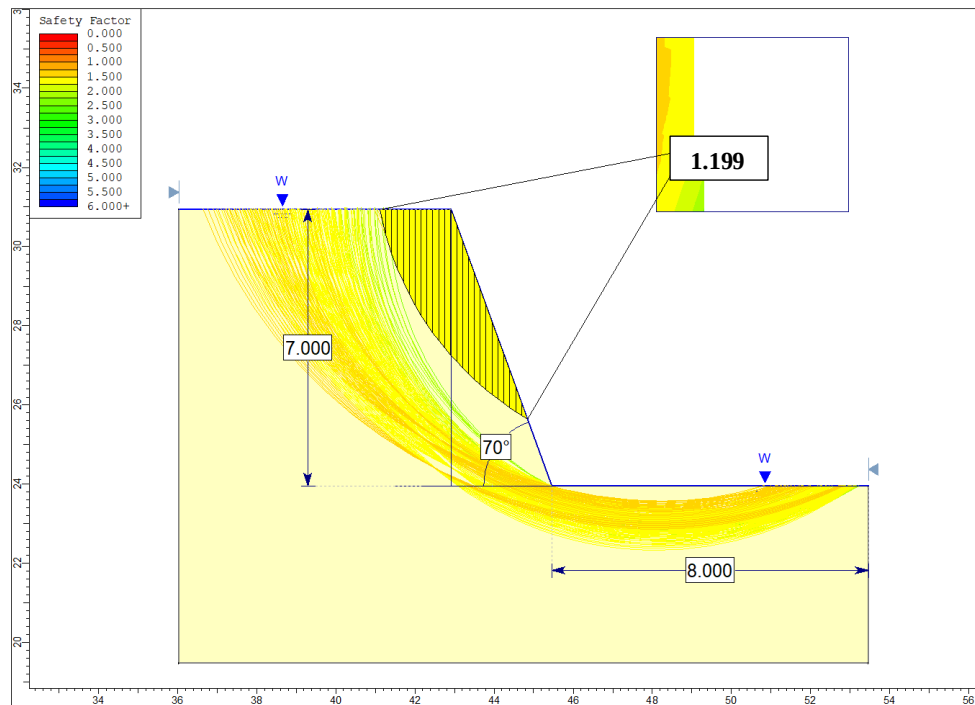


Figura 124: FS en Condiciones Saturadas – Método de Morgenstern-Price /Talud 10

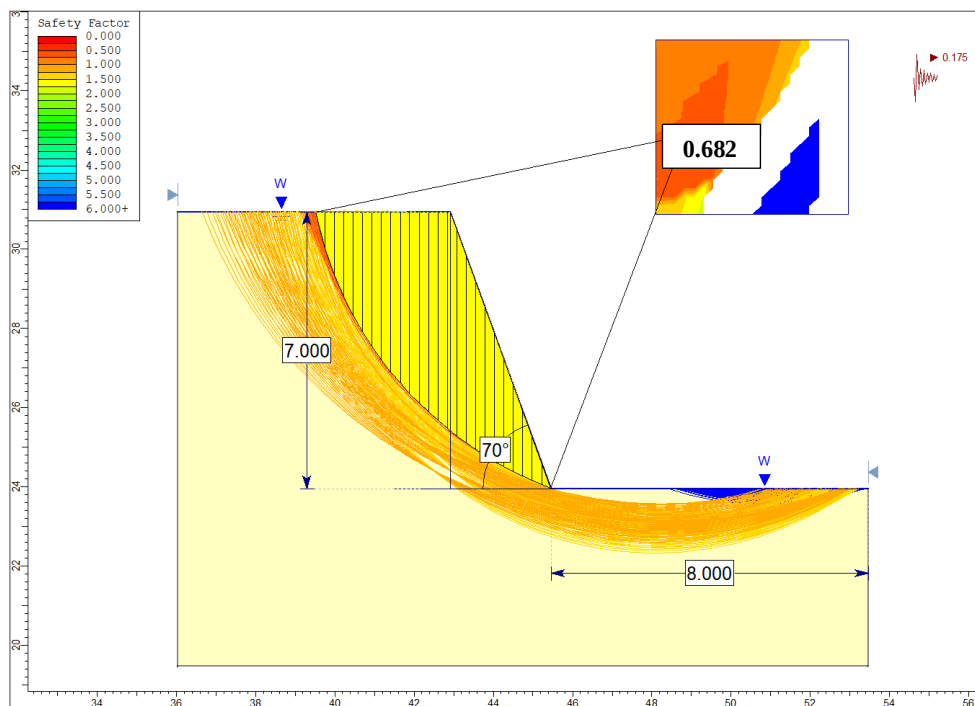


Figura 125: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Morgenstern-Price /Talud 10

➤ **Estación Geotécnica 11 (EG-11)**

Este talud se encuentra ubicado al margen izquierdo de la carretera, en la progresiva 06+500. Su altura es de aproximadamente 5 metros y presenta un buzamiento de 77° , lo que indica una pendiente bastante inclinada. El ancho de la vía en este tramo es de 10 metros. Según el estudio de mecánica de suelos, el talud está conformado por limos inorgánicos y arenas muy finas, incluyendo limos arcillosos de ligera plasticidad. Conforme al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), este material ha sido clasificado como ML.



Fotografía 19: Talud 11 en la progresiva 06+500

Tabla 27: Geometría y parámetros de entrada del Talud 11

Geometría del Talud 11	
Altura del Talud (m)	5
Buzamiento ($^\circ$)	77 NW
Azimut ($^\circ$)	357
Ancho de la Carretera (m)	10
Parámetros de Entrada para el Cálculo del FS	
Peso Específico (KN/m^3)	17.170
Peso Específico Saturado (KN/m^3)	19.620
Cohesión (Kpa)	15
Ángulo de Fricción ($^\circ$)	28
Coefficiente Sísmico (Kh)	0.175

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Bishop para la EG-11**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Bishop:

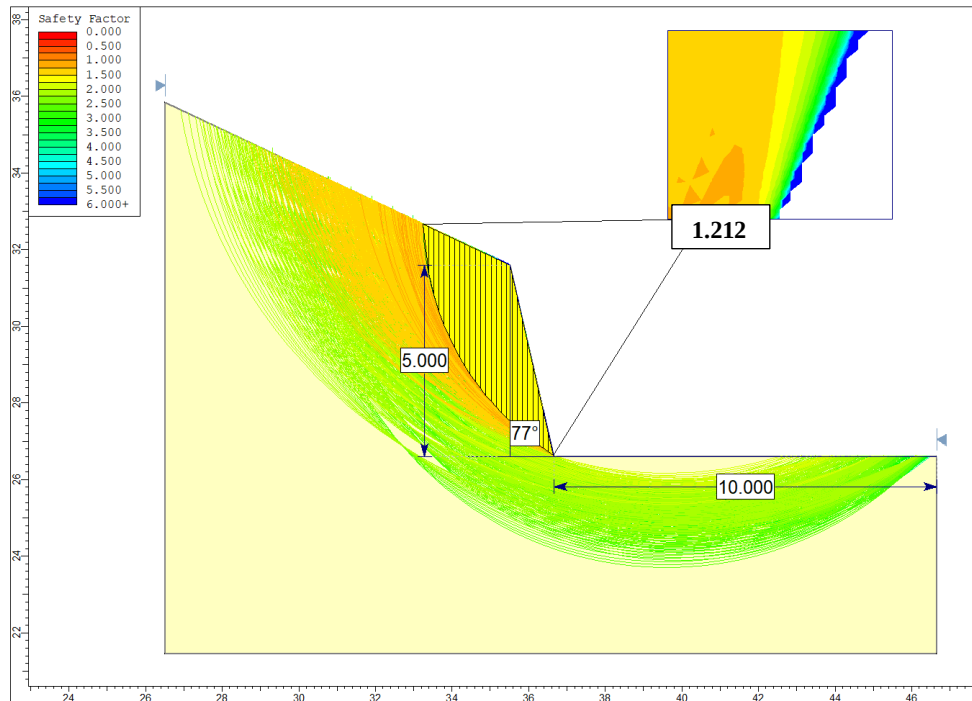


Figura 126: FS en Condiciones Estáticas – Método de Bishop/Talud 11

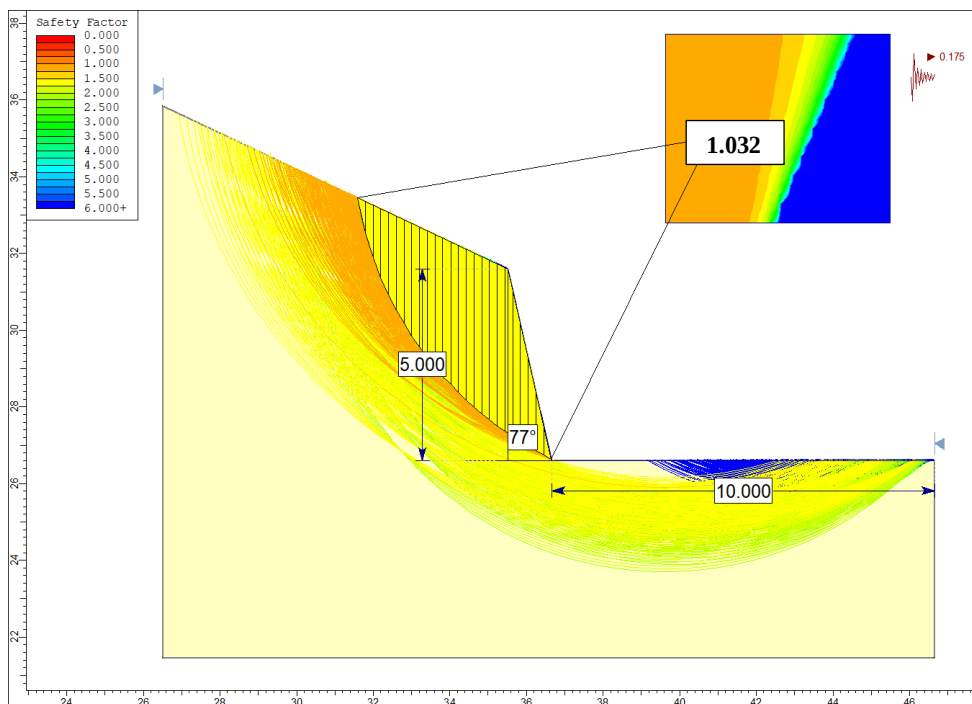


Figura 127: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Bishop/Talud 11

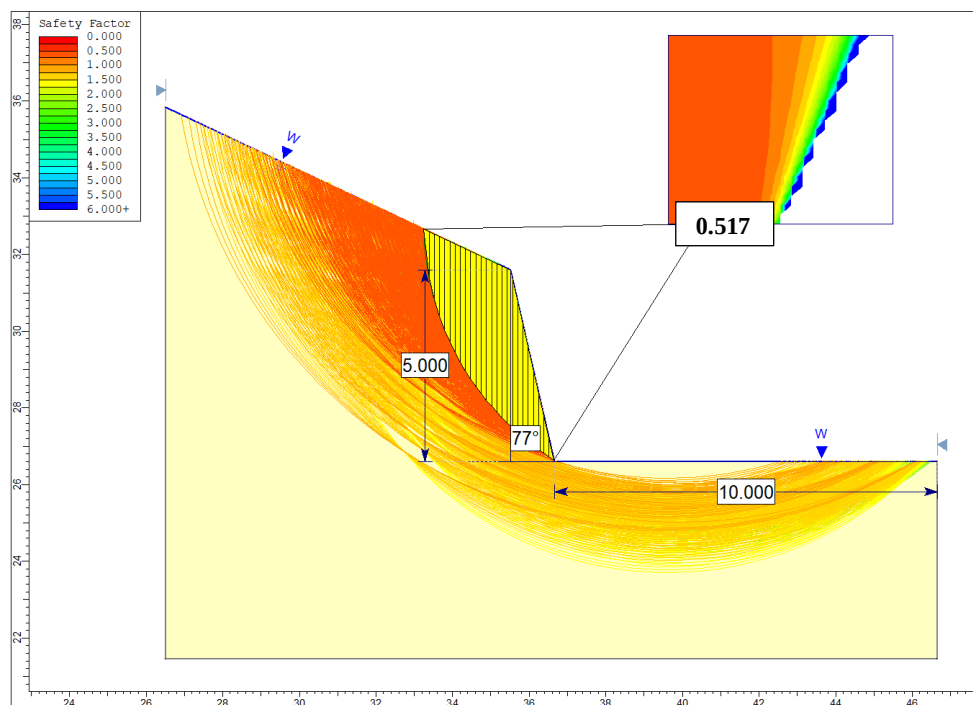


Figura 128: FS en Condiciones Saturadas – Método de Bishop/Talud 11

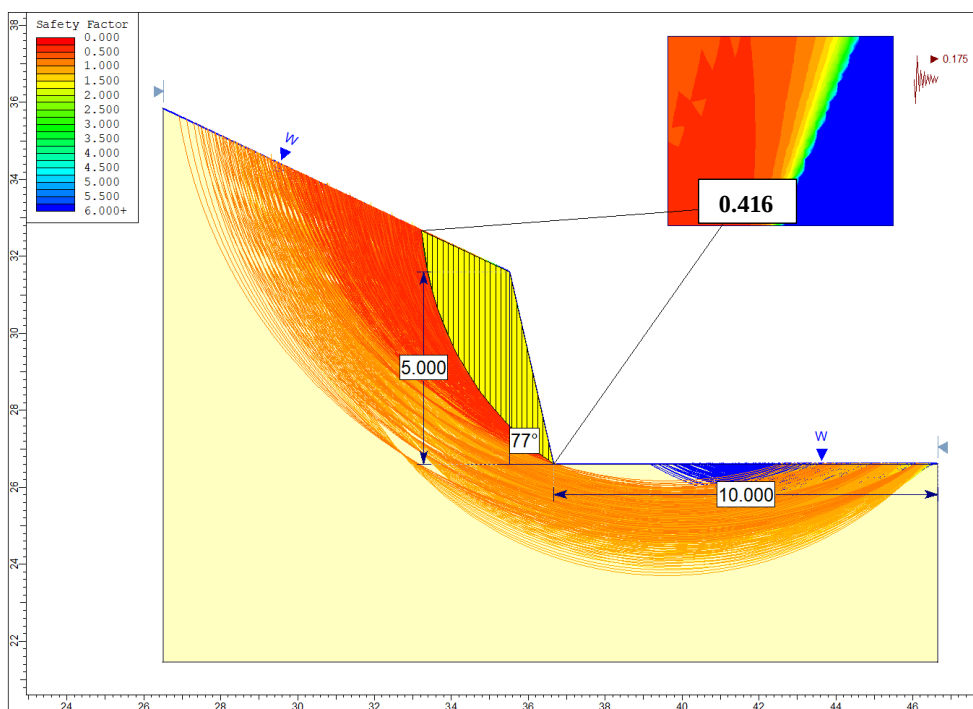


Figura 129: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Bishop/Talud 11

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Spencer para la EG-11**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Spencer:

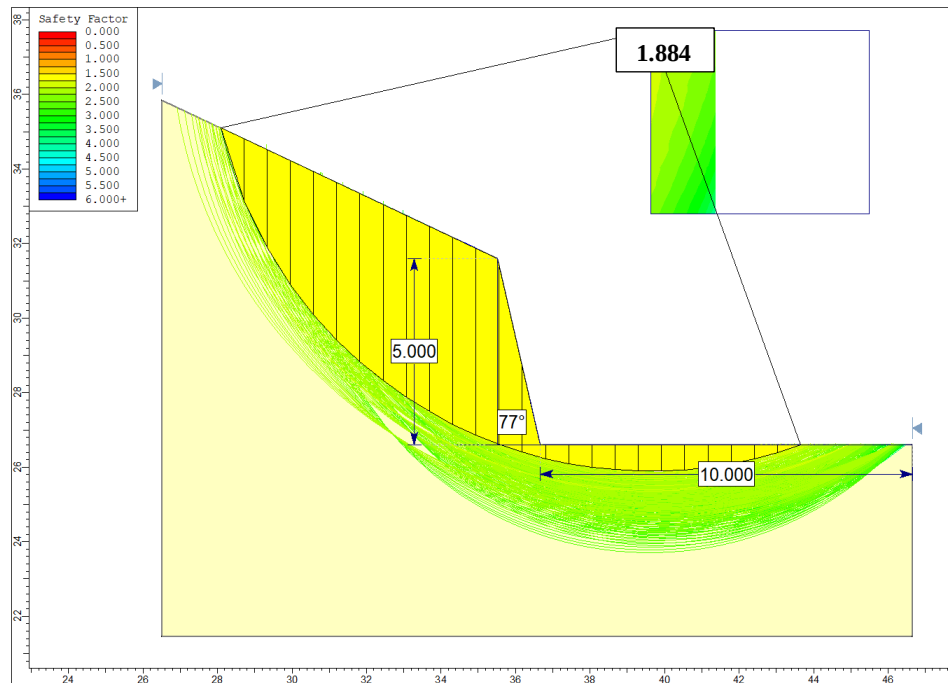


Figura 130: FS en Condiciones Estáticas – Método de Spencer/Talud 11

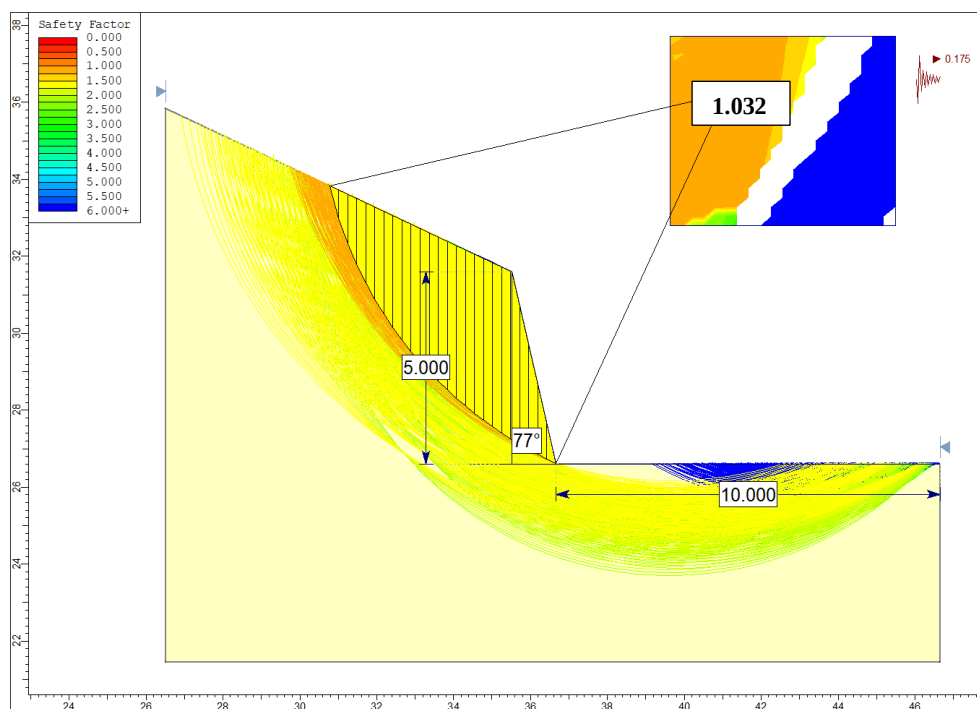


Figura 131: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Spencer/Talud 11

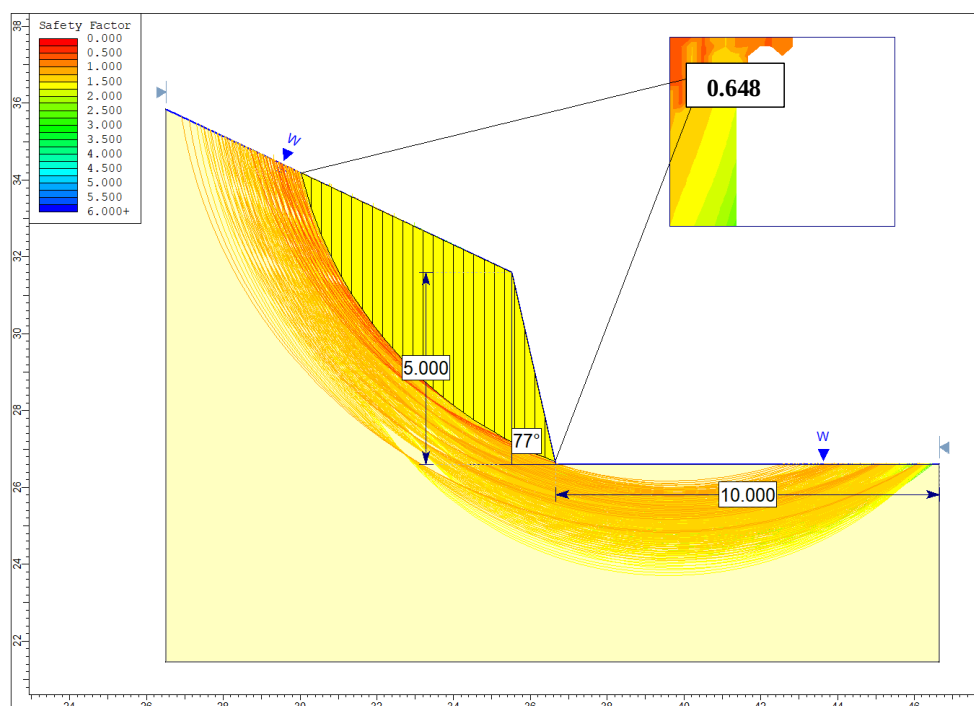


Figura 132: FS en Condiciones Saturadas – Método de Spencer /Talud 11

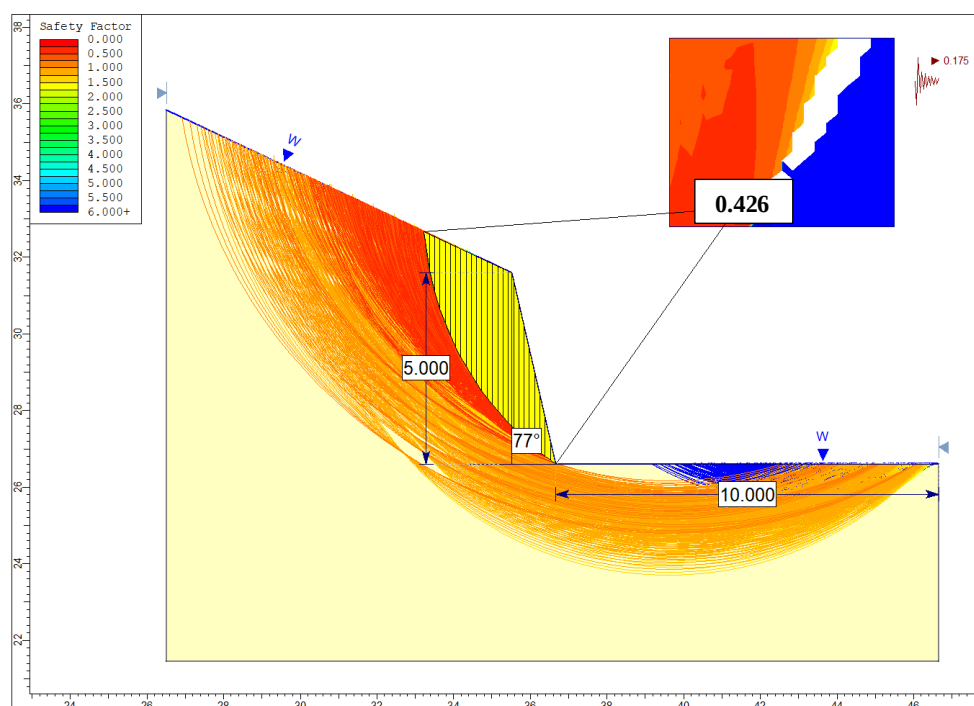


Figura 133: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Spencer /Talud 11

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Morgenstern-Price para la EG-11**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Morgenstern-Price

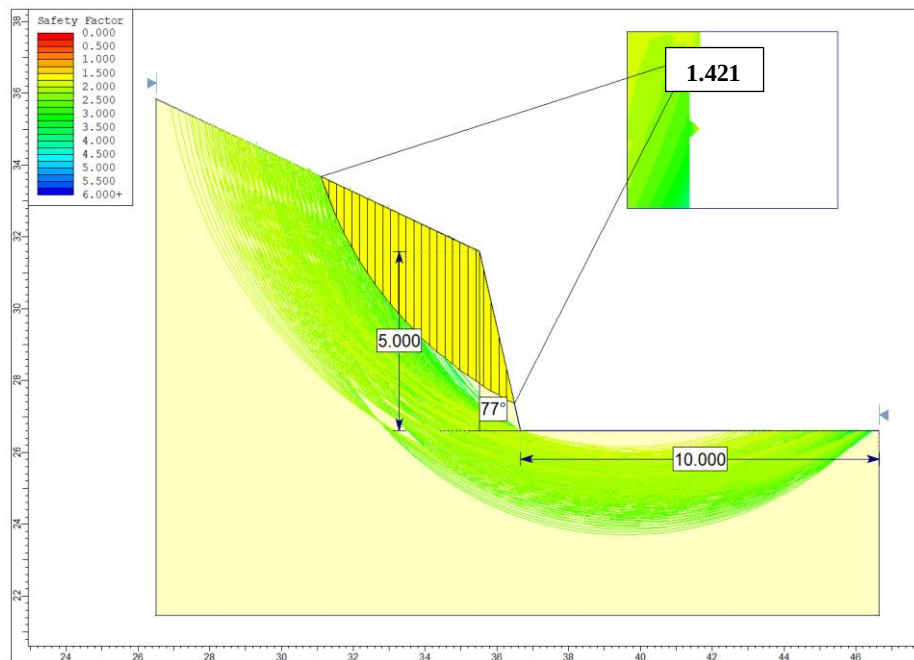


Figura 134: FS en Condiciones Estáticas – Método de Morgenstern-Price /Talud 11

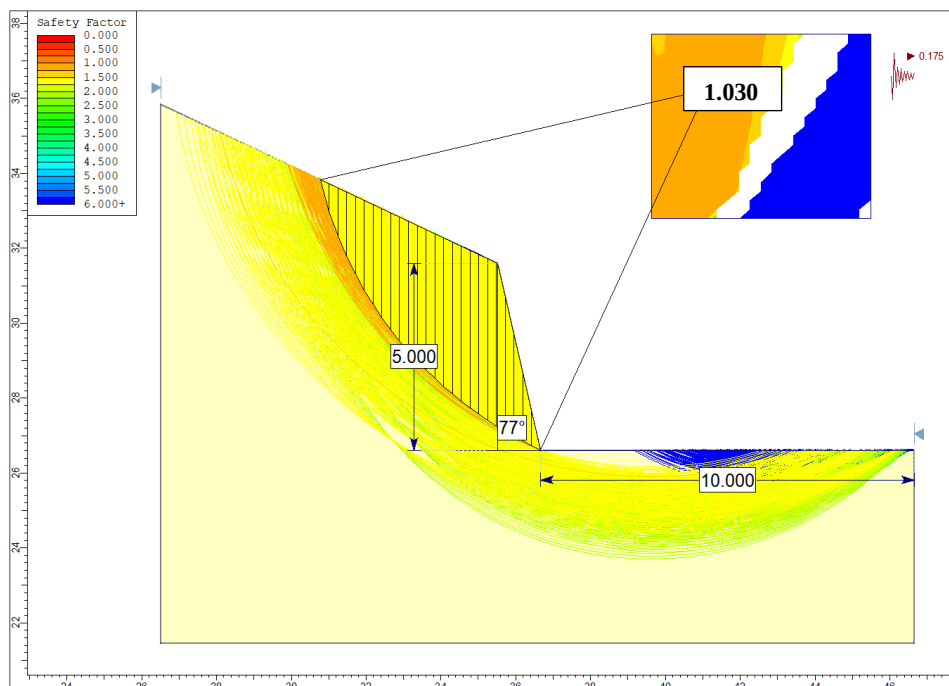


Figura 135: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Morgenstern-Price/Talud 11

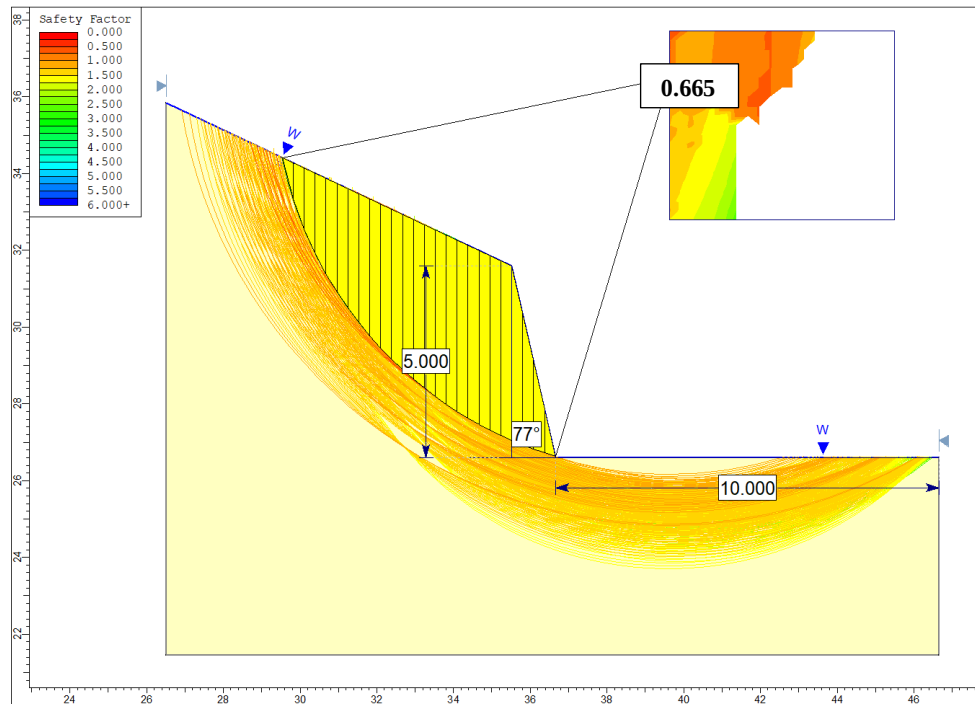


Figura 136: FS en Condiciones Saturadas – Método de Morgenstern-Price /Talud 11

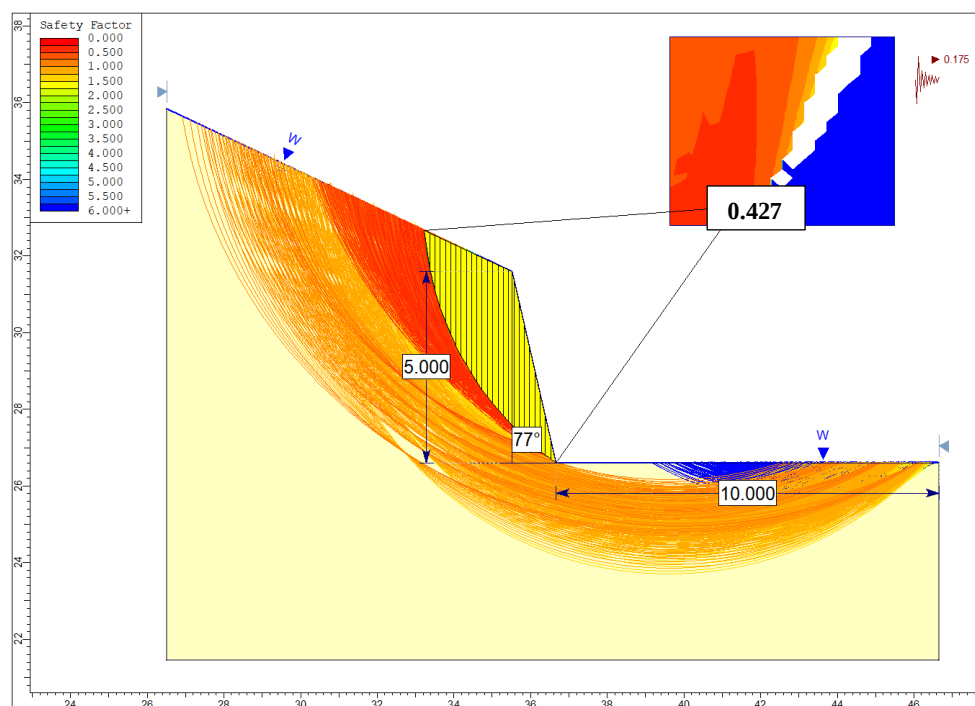
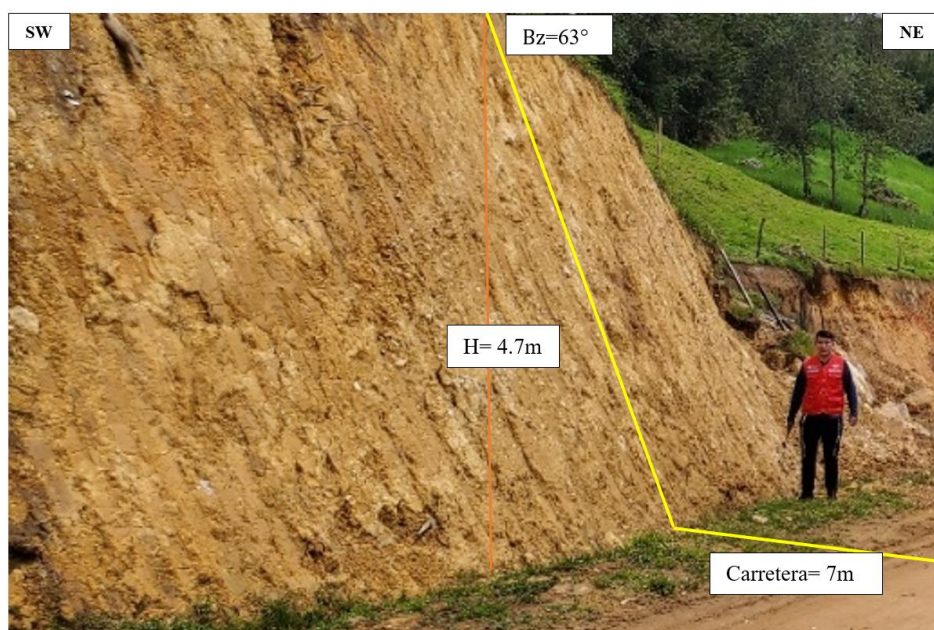


Figura 137: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Morgenstern-Price /Talud 11

➤ **Estación Geotécnica 12 (EG-12)**

Este talud se encuentra ubicado al margen izquierdo de la carretera, en la progresiva 07+000. Tiene una altura aproximada de 4.7 metros y presenta una inclinación moderadamente empinada, con un buzamiento de 63° . La vía, en este tramo, tiene un ancho de 7 metros. Según el estudio de mecánica de suelos, el terreno está conformado por arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, también denominadas arcillas limosas. De acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), este tipo de suelo corresponde a la clase CL.



Fotografía 20: Talud 12 en la progresiva 07+000

Tabla 28: Geometría y parámetros de entrada del Talud 12

Geometría del Talud 12	
Altura del Talud (m)	4.7
Buzamiento ($^\circ$)	63 NW
Azimut ($^\circ$)	282
Ancho de la Carretera (m)	7
Parámetros de Entrada para el Cálculo del FS	
Peso Específico (KN/m^3)	18.639
Peso Específico Saturado (KN/m^3)	23.544
Cohesión (Kpa)	25
Ángulo de Fricción ($^\circ$)	24
Coefficiente Sísmico (Kh)	0.175

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Bishop para la EG-12**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Bishop:

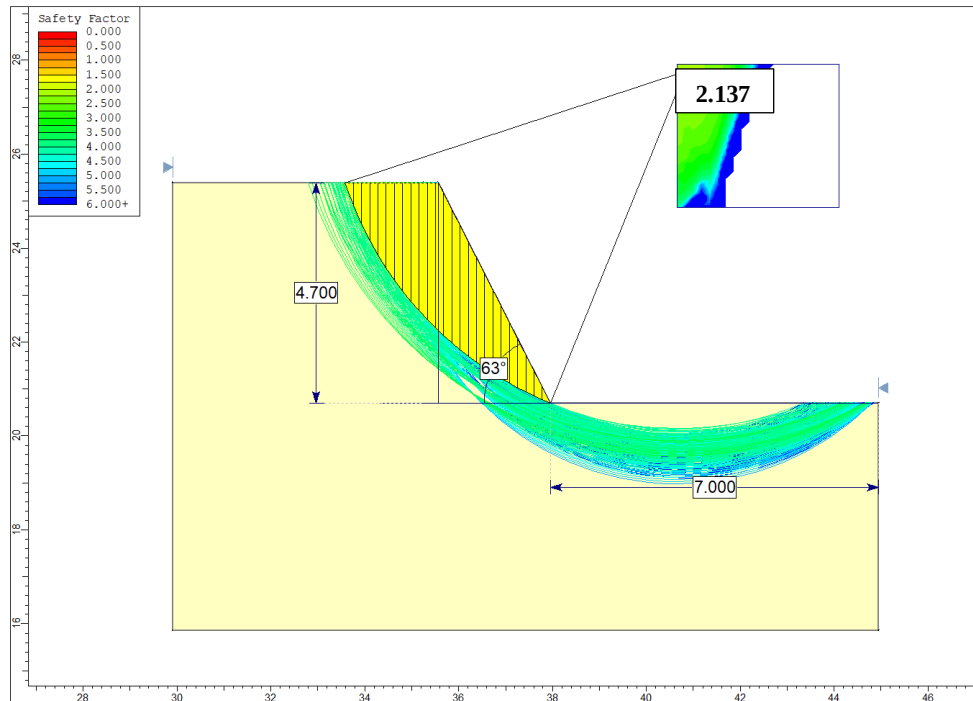


Figura 138: FS en Condiciones Estáticas – Método de Bishop/Talud 12

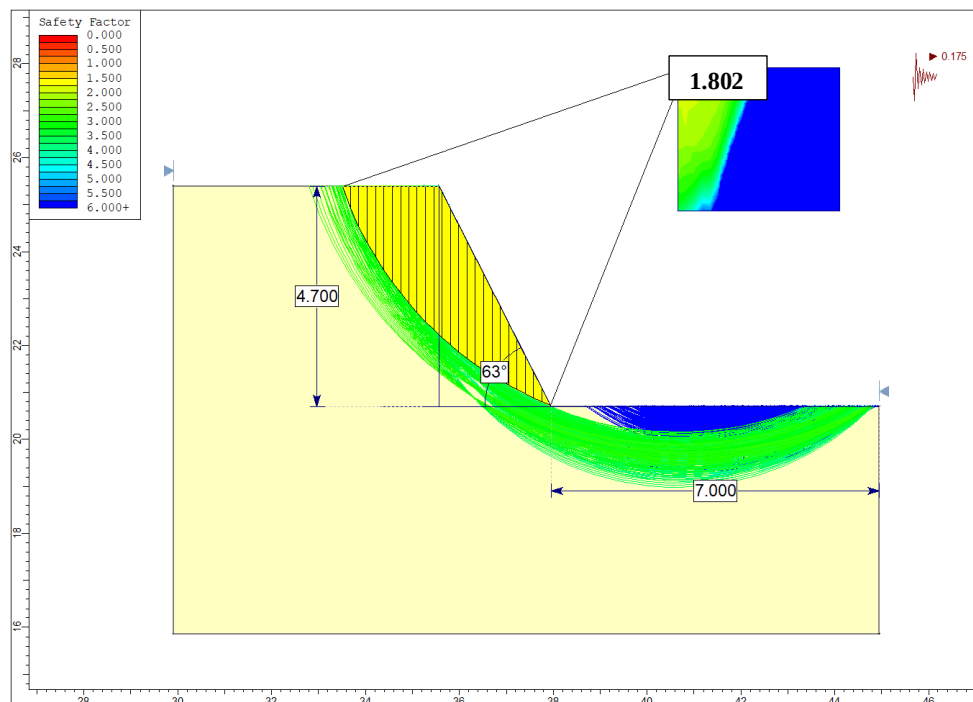


Figura 139: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Bishop/Talud 12

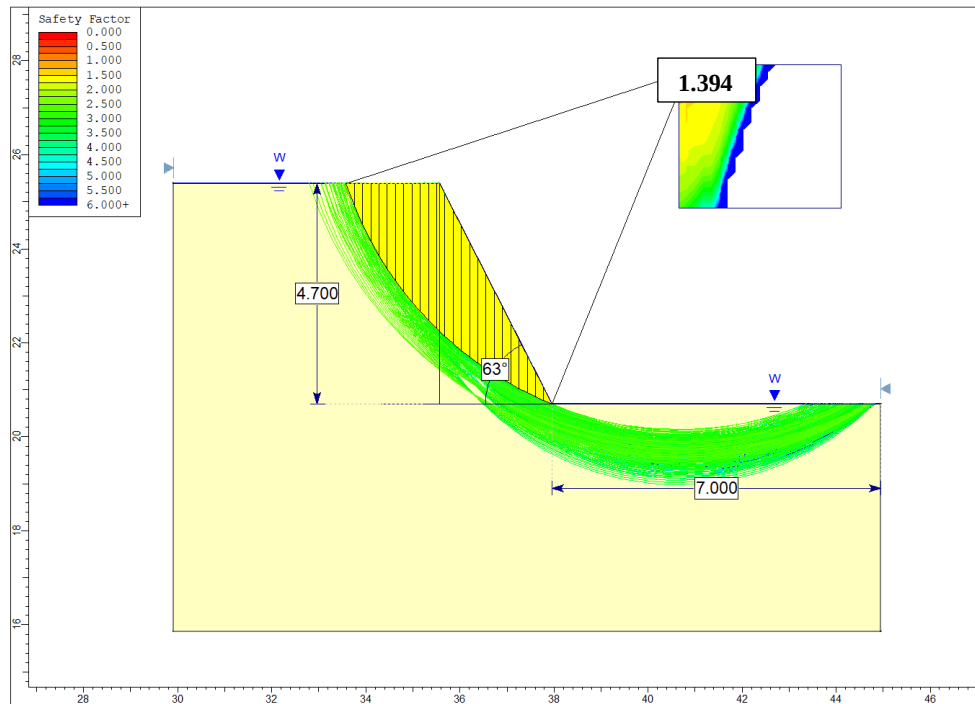


Figura 140: FS en Condiciones Saturadas – Método de Bishop/Talud 12

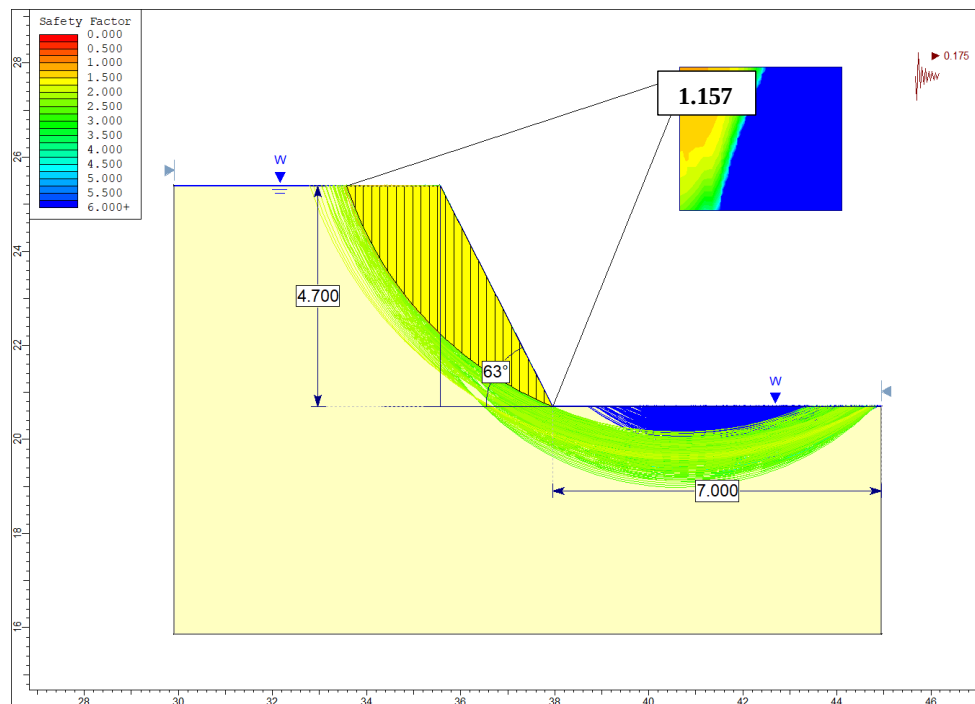


Figura 141: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Bishop/Talud 12

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Spencer para la EG-12**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Spencer:

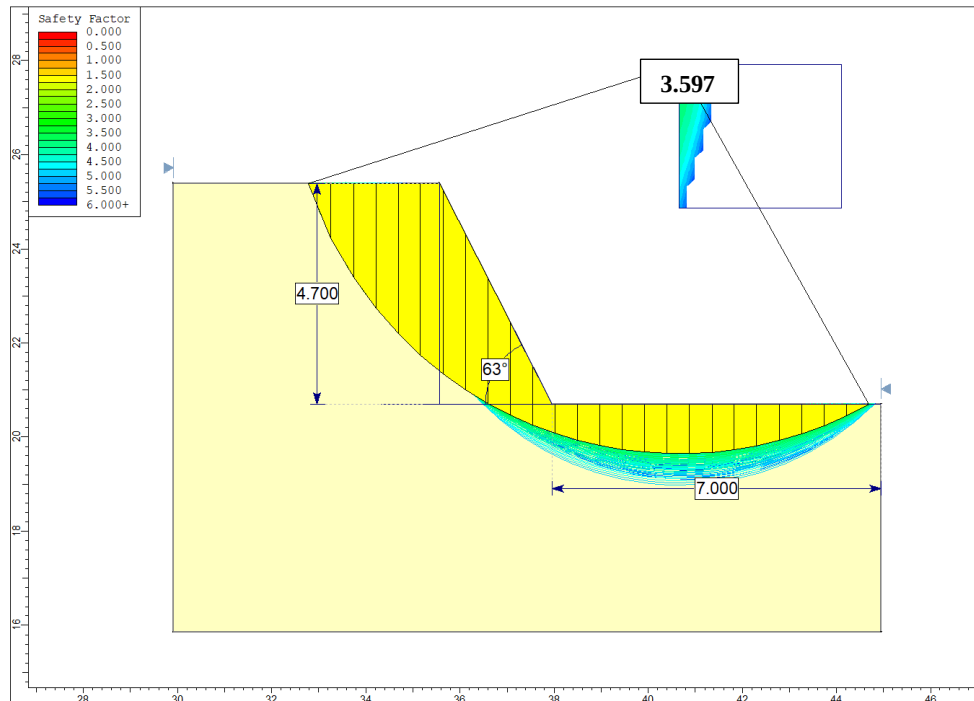


Figura 142: FS en Condiciones Estáticas – Método de Spencer/Talud 12

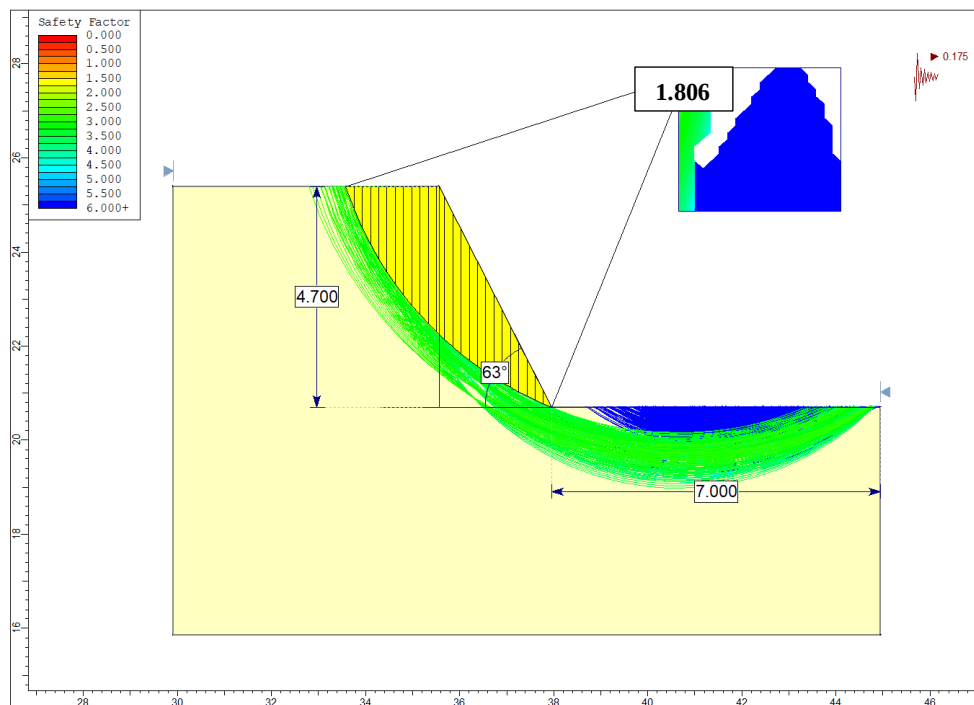


Figura 143: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Spencer/Talud 12

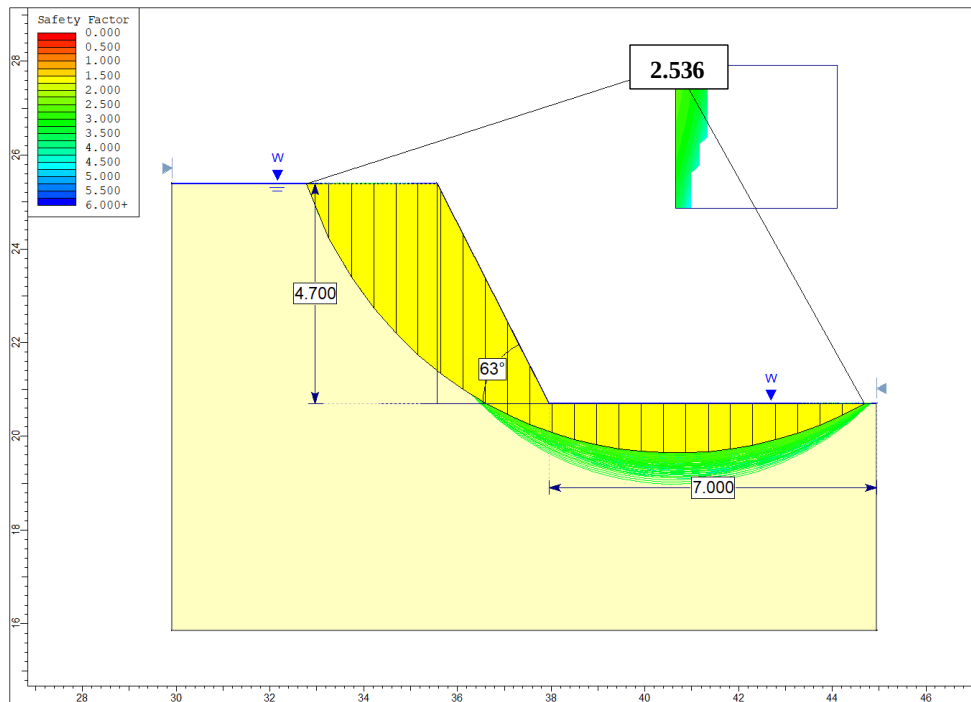


Figura 144: FS en Condiciones Saturadas – Método de Spencer /Talud 12

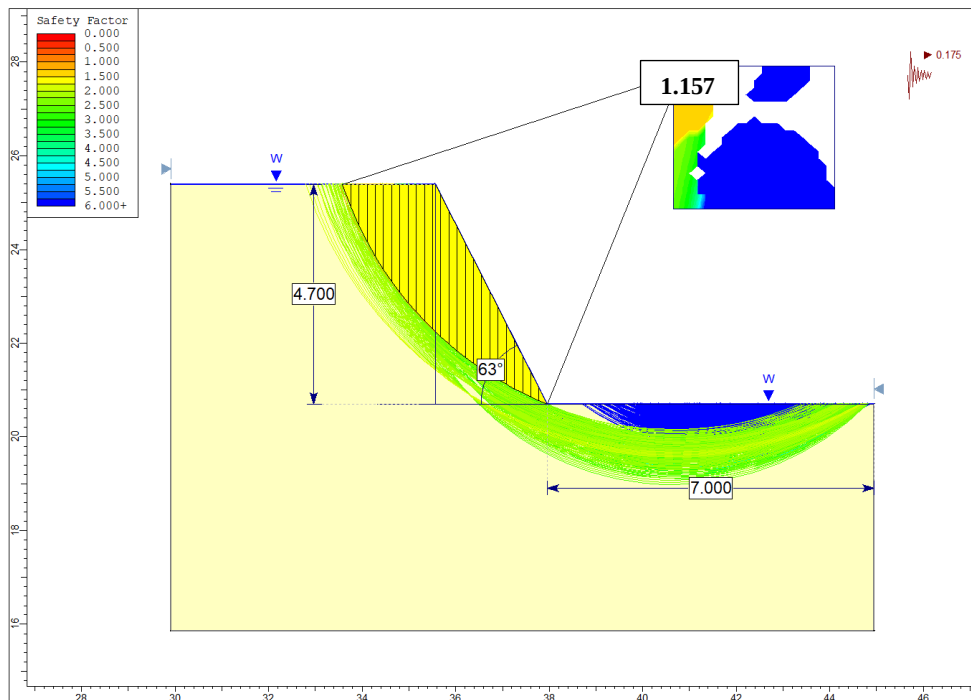


Figura 145: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Spencer /Talud 12

➤ **Cálculo del FS de Seguridad Aplicando el Método de Morgenstern-Price para la EG-12**

A continuación, se muestra el cálculo del Factor de Seguridad (FS) en diferentes condiciones usando el método de Morgenstern-Price

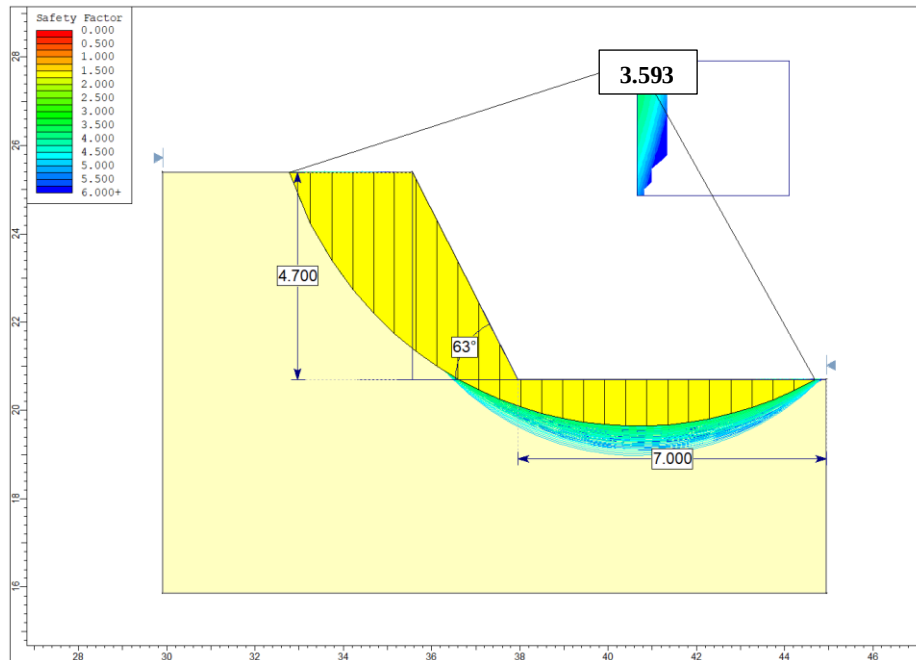


Figura 146: FS en Condiciones Estáticas – Método de Morgenstern-Price /Talud 12

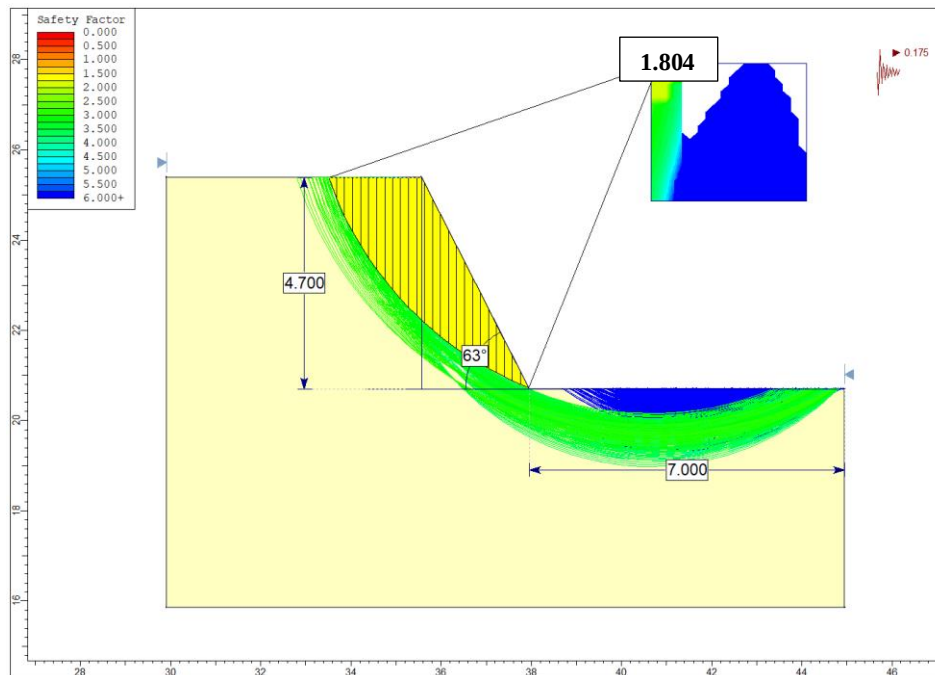


Figura 147: FS en Condiciones Pseudoestáticas – Método de Morgenstern-Price/Talud 12

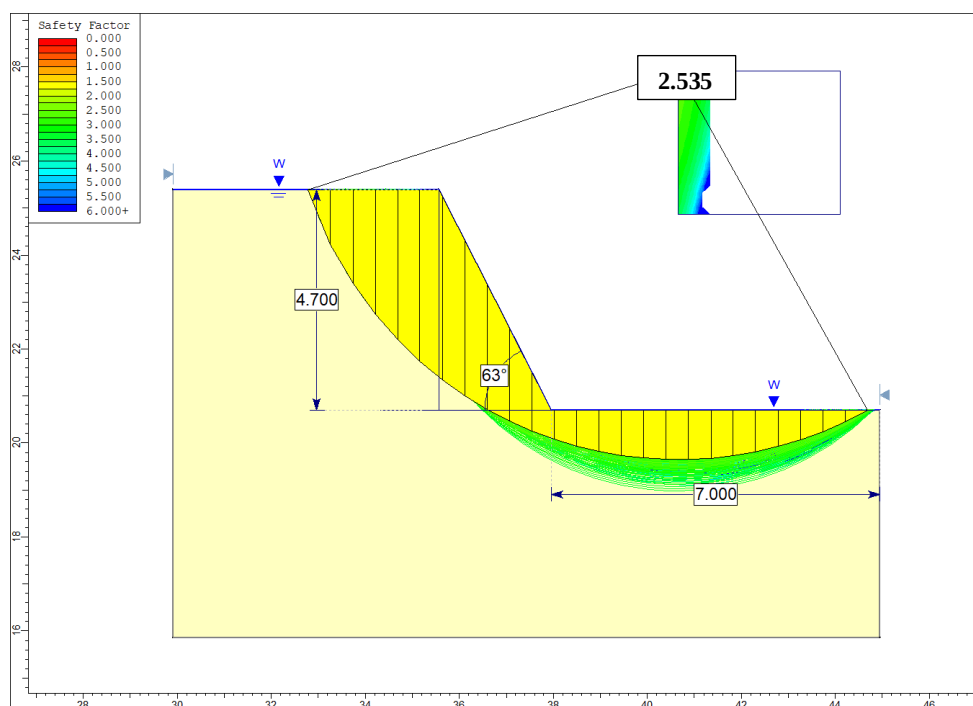


Figura 148: FS en Condiciones Saturadas – Método de Morgenstern-Price /Talud 12

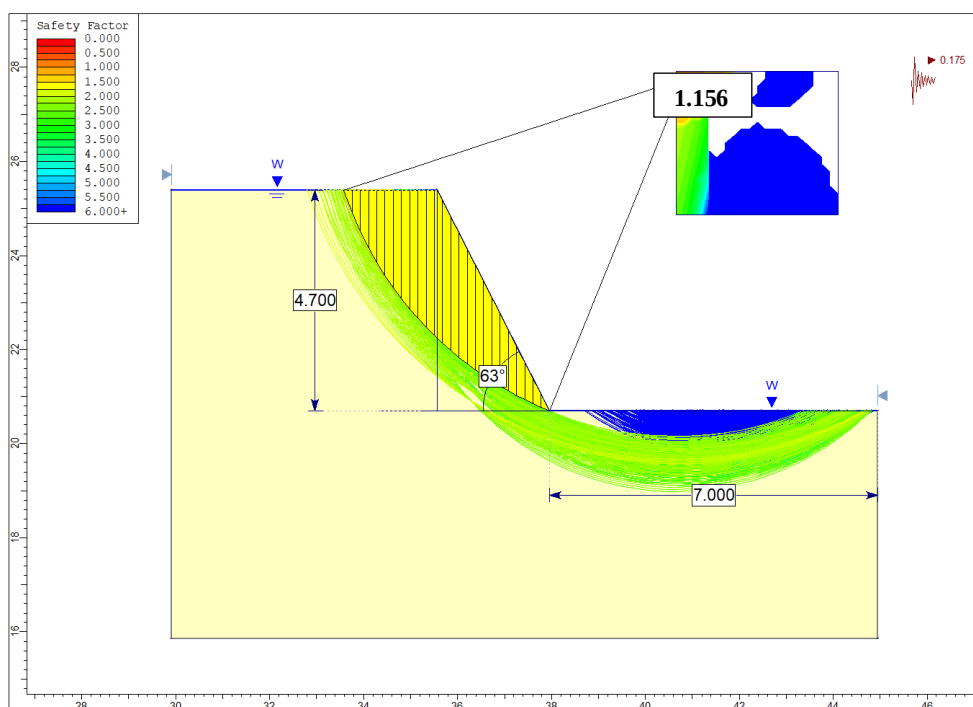


Figura 149: FS en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas– Método de Morgenstern-Price /Talud 12

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.1 Evaluación del Tipo de Suelo en la Inestabilidad de Taludes

El tipo de suelo que se presenta en la zona de investigación son materiales cuaternarios como los depósitos coluviales y eluviales. La estabilidad de un talud coluvial se ve influenciada principalmente por las características del material, la topografía y las condiciones geológicas (Hussen et al. 2024). Estos depósitos cuaternarios al no estar consolidados y al ser sometidos a la saturación del agua en temporadas donde las precipitaciones son frecuentes, presentan inestabilidad. Al calcular el factor de seguridad de los taludes, los resultados indican que el FS menor a 1 se presenta generalmente en condiciones pseudoestáticas, saturadas y en ambas, por lo que de acuerdo a las normativas presentadas en la Tabla 29, todos los taludes presentan inestabilidad en estas condiciones.

Tabla 29: Factores de seguridad según diferentes normativas

NORMATIVA	TALUD PERMANENTE	
	ESTÁTICA	SÍSMICA
ASHTO LRFD	1.33-1.53	1.1
NAFAFAC-DM7	1.5	1.2-1.15
FHWA-NHI-11-032	-	1.1
CE.020	1.5	1.25

Fuente: Valiente et al. , (2017)

De los resultados obtenidos tenemos que los taludes 04, 05, 06, 07 y 09 son los que tienen los valores más bajos de Factor de Seguridad en todas las condiciones, esto se debe a que están formados por suelos de composición arenosa con limos y arcillas (SC-SM), suelos arenosos limosos (SM) y limos inorgánicos arcillosos (ML), los cuales son suelos poco cohesivos por lo que son inestables y al someterlos a saturación y sismicidad su inestabilidad aumenta considerablemente.

En general todos los taludes analizados se encuentran conformados por los depósitos cuaternarios, los cuales presentan una composición variada entre limos, arenas, arcillas de baja plasticidad a media y arenas arcillosas (ML, SM, CL, SC), estos suelos por la naturaleza de la zona se encuentran formados por materiales volcánicos, los cuales suelen tener una alta permeabilidad, permitiendo que el agua infiltre y los sature hasta el punto en que las fuerzas de desequilibren y se ocasione un deslizamiento generalmente en los suelos limosos arcillosos poco cohesivos (Ver Fotografía 20), además los taludes inestables se encuentran en pendientes pronunciadas como se puede evidenciar en el Plano N°3, la gran mayoría se encuentran asociados a zonas de ladera.



Fotografía 21: Deslizamiento en la cara del talud en el Km 05+850

4.1.2 Evaluación de la Precipitación e Infiltración en la Inestabilidad de Taludes

Las precipitaciones en la zona de estudio varían entre 653.300 mm a 1306.400 mm en un periodo de 8 años. Al realizar el balance hídrico de acuerdo a la metodología propuesta por Ortiz, (2014) se obtuvo que el volumen de agua que infiltra es de 233244MMC, lo que indica que estos suelos se encuentran muy saturados en las épocas de precipitación, lo cual va generar inestabilidad en los taludes. Esto se evidencia al realizar el cálculo del FS de los taludes en condiciones saturadas mediante los métodos que se presentan en la (Tabla 29),

todos presentan un FS inferior a 1, de acuerdo a las normas ASHTO LRFD, NAVAFAC-DM7, FHWA-NHI-11-032, CE.020 (Tabla 29), todos los demás taludes son inestables, a excepción del Talud 12 que presenta una composición de arcillas inorgánicas (CL), que al ser cohesivas y al tener un ángulo de inclinación menor que los demás es estable.

Tabla 30: Factor de Seguridad en Condiciones Saturadas

CÓDIGO DE ESTACIÓN	N° TALUD	FACTOR DE SEGURIDAD EN CONDICIONES SATURADAS		
		Bishop	Spencer	Morgenstern-Price
EG-01	1	0.902	0.925	0.942
EG-02	2	0.853	0.861	0.858
EG-03	3	0.304	0.353	0.35
EG-04	4	0.26	0.275	0.269
EG-05	5	0.137	0.168	0.171
EG-06	6	0.289	0.302	0.296
EG-07	7	0.048	0.082	0.084
EG-08	8	0.689	1.354	0.827
EG-09	9	0.334	0.542	0.503
EG-10	10	0.796	1.426	1.199
EG-11	11	0.517	0.648	0.665
EG-12	12	1.394	1.536	1.535

4.1.3 Evaluación de la Sismicidad en la Inestabilidad de Taludes

La sismicidad suele causar deslizamientos de tierra que ocasionan importantes pérdidas económicas y materiales, así como víctimas mortales (Deng, 2025). Es por ello que se realizó el cálculo del FS de 12 taludes comprendidos entre las progresivas Km 1+550 – km 7+150, para ello se usó el coeficiente sísmico K_h calculado en el apartado 3.8 siendo este de 0.175. Al ingresar este coeficiente en el software Slide v-6.0, se obtuvo que los taludes 03, 04, 05, 06, 07, 09 y 11 presentan un FS s por debajo de 1.1 según lo sugerido por las normas internacionales (Tabla 29), lo que indica que son inestables en condiciones de sismicidad (Tabla 31).

Tabla 31: Factor de Seguridad en Condiciones Pseudoestáticas

CÓDIGO DE ESTACIÓN	N° TALUD	FACTOR DE SEGURIDAD EN CONDICIONES PSEUDOESTÁTICAS		
		Bishop	Spencer	Morgenstern- Price
EG-01	1	1.293	1.301	1.300
EG-02	2	1.326	1.329	1.323
EG-03	3	0.793	0.795	0.789
EG-04	4	0.805	0.797	0.809
EG-05	5	0.767	0.769	0.778
EG-06	6	0.837	0.842	0.840
EG-07	7	0.490	0.493	0.500
EG-08	8	1.147	1.777	1.174
EG-09	9	0.871	0.899	0.898
EG-10	10	1.212	1.214	1.212
EG-11	11	1.032	1.032	1.030
EG-12	12	1.802	1.806	1.804

4.1.4 Evaluación de la Inestabilidad de los Taludes mediante el FS

Mediante el cálculo del FS y posterior clasificación de acuerdo a las normas ASHTO LRFD, NAVAFAAC-DM7, FHWA-NHI-11-032, CE.020 (Tabla 29), se determina si el talud presenta inestabilidad. En este caso se calculó el FS en diferentes condiciones:

- Estáticas
- Pseudoestáticas
- Saturadas
- Pseudoestáticas y Saturadas

Los resultados indican que, al someter a condiciones de saturación y sismicidad, los taludes 03, 04, 05, 06 07, y 09 presentan inestabilidad en condiciones estáticas esto debido a que son materiales poco cohesivos y no consolidados (SM, SC-SM y ML), en condiciones de saturación + sismicidad todos presentan inestabilidad a excepción del Talud 12 (ver sustento en el apartado 4.1.2).

Al aplicar los criterios de las principales normas internacionales (Tabla 29) tenemos que el 50% de los taludes analizados en condiciones estáticas (Tabla 32) son inestables, y al someterlos a sismicidad y saturación (Tabla 33) el 99% de los taludes son inestables esto se

debe principalmente al tipo de material geológico, las precipitaciones y la sismicidad de la zona.

Tabla 32: Factor de Seguridad en condiciones Estáticas

CÓDIGO DE ESTACIÓN	N° TALUD	FACTOR DE SEGURIDAD EN CONDICIONES ESTÁTICAS		
		Bishop	Spencer	Morgenstern-Price
EG-01	1	1.611	2.14	2.139
EG-02	2	1.739	1.735	1.734
EG-03	3	1.023	1.017	1.017
EG-04	4	0.903	1.462	1.208
EG-05	5	0.892	0.956	0.958
EG-06	6	0.943	1.518	1.107
EG-07	7	0.555	0.584	0.593
EG-08	8	1.296	2.061	1.619
EG-09	9	0.992	1.575	1.156
EG-10	10	1.421	2.133	1.764
EG-11	11	1.212	1.884	1.421
EG-12	12	2.137	3.597	3.593

Tabla 33: Factor de Seguridad en condiciones Pseudoestáticas y Saturadas

CÓDIGO DE ESTACIÓN	N° TALUD	FACTOR DE SEGURIDAD EN CONDICIONES PSEUDOESTÁTICAS Y SATURADAS		
		Bishop	Spencer	Morgenstern-Price
EG-01	1	0.704	0.708	0.714
EG-02	2	0.62	0.644	0.636
EG-03	3	0.191	0.287	0.293
EG-04	4	0.208	0.253	0.257
EG-05	5	0.081	0.198	0.205
EG-06	6	0.234	0.27	0.279
EG-07	7	0.03	0.067	0.064
EG-08	8	0.59	0.611	0.61
EG-09	9	0.268	0.269	0.267
EG-10	10	0.679	0.68	0.682
EG-11	11	0.416	0.426	0.427
EG-12	12	1.157	1.157	1.156

4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos evidencian que los taludes evaluados presentan una alta vulnerabilidad a la inestabilidad tanto por causas del material no consolidado (depósitos cuaternarios coluviales y residuales), hidrológicas y sísmicas. Como señalan Hussien et al. (2024), la estabilidad de taludes coluviales depende de una interacción de factores como la topografía, las características geotécnicas del suelo, el nivel freático, la pluviosidad y la actividad sísmica. En este estudio, estos factores están presentes, lo cual incrementa significativamente el riesgo de deslizamiento.

En relación a la influencia de la lluvia, los altos niveles de precipitación en la zona, que oscilan entre 653.300 mm y 1306.400 mm en un período de 8 años, generan una saturación progresiva en los suelos coluviales, reduciendo la succión matricial y aumentando la presión de poro. Esta condición ha sido ampliamente estudiada por Ishikawa et al. (2023), quienes argumentan que la infiltración de agua durante temporadas intensas de lluvia reduce la estabilidad de pendientes debido a la pérdida de resistencia por la saturación y por la posible obstrucción de sistemas de drenaje, como zanjas en taludes de carreteras. En zonas montañosas, donde se concentra la escorrentía, el riesgo se incrementa aún más, especialmente si no se cuenta con un sistema de drenaje adecuado.

En cuanto al componente sísmico, los resultados también validan lo planteado por Qian y Deng (2025), quienes destacan que los métodos pseudoestáticos son eficientes para analizar la estabilidad sísmica de taludes, aunque presentan limitaciones al capturar la respuesta dinámica real. No obstante, los valores obtenidos mediante este método en el presente estudio muestran un $FS < 1$ para el 50% de los casos, lo cual es un claro indicador de inestabilidad ante eventos sísmicos.

Finalmente, al integrar los tres factores más influyentes tipo de suelo, saturación por precipitación e impacto sísmico, se observa que el FS de los taludes evaluados decae al someterlos a condiciones de saturación y sismicidad por lo que requieren intervenciones ingenieriles, tales como: La mejora del drenaje superficial, perfilado de los taludes con un menor buzamiento para darles estabilidad.

4.3 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La inestabilidad de los taludes en el tramo Km 1+550 – Km 7+150 de la carretera San Miguel - El Empalme se encuentra influenciada por el tipo de suelo, las elevadas precipitaciones, la infiltración de agua en el terreno y la actividad sísmica, lo cual se evidencia en la reducción del factor de seguridad por debajo de los niveles críticos de estabilidad, lo que se comprueba al realizar los cálculos en el software Slide V-6.0 mediante los métodos de Bishop, Spencer y Morgenstern-Price donde se evidencia que el 50% de los taludes son inestables en condiciones estáticas y al ser sometidos a condiciones saturadas y sísmicas la inestabilidad se ve reflejada en el 99% de los taludes, lo que comprueba la hipótesis planteada.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Mediante el cartografiado geológico se identificó las unidades geológicas tales como los depósitos cuaternarios coluviales, residuales y parte de la formación Celendín (Ver Plano N°4) que son en los que se encuentran los taludes a lo largo del tramo Km 1+550 – Km 7+150 de la carretera San Miguel - El Empalme (Ver Plano N°1).

Los estudios de mecánica de suelos sirvieron para clasificar el material, teniendo principalmente suelos tipo: ML, SM, CL, SC de acuerdo a la clasificación SUCS.

Las elevadas precipitaciones en la zona, junto con la alta permeabilidad del suelo, favorecen a la inestabilidad. Asimismo, la actividad sísmica en la región actúa como un factor de desestabilización como evidencian los resultados mostrados en la Tabla 30.

Los análisis realizados, evidenciaron que los taludes analizados presentan factores de seguridad menores a 1 al ser sometidos a condiciones de sismicidad y saturación, lo que confirma su inestabilidad. Estos resultados coinciden con las condiciones observadas en campo, como deslizamientos rotacionales presentes a lo largo del tramo evaluado.

5.2 RECOMENDACIONES

A la Municipalidad Provincial de San Miguel se recomienda, establecer un programa de monitoreo geotécnico periódico, que incluya inspecciones visuales, evaluación del estado de los drenajes, actualizar el cartografiado de zonas críticas en el tramo, considerando la evolución de los procesos de inestabilidad y los cambios inducidos por eventos climáticos extremos o sismos.

A futuros investigadores se recomienda, complementar los estudios geotécnicos con investigaciones más detalladas, tales como ensayos in situ (SPT, permeabilidad, corte directo) y monitoreo de niveles freáticos, a fin de mejorar la precisión de los parámetros utilizados en los análisis de estabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcántara, GH. 2011. Cobertura vegetal y uso actual del departamento de Cajamarca. Cajamarca, Perú.
- Álvarez, JI. 2022. Modelo hidrológico para pronosticar caudales recesivos y estimar el coeficiente de agotamiento: caso río Jequetepeque aguas arriba de la presa Gallito Ciego – Contumazá, 2020. Tesis doctoral. Cajamarca, Perú.
- Aurazo, N; Aurazo, CA. 2022. Estudio definitivo de la carretera: localidad El Alto, distrito de Niepos – San Miguel – Cajamarca, hasta la ciudad de Oyotún. Tesis profesional. Lambayeque, Perú.
- Bayati, Z; Saeidi, A; Payan, M. 2025. Aproximaciones al análisis de estabilidad de taludes sometidos a carga sísmica: una revisión. ScienceDirect 11.
- CEN (Comité Europeo de Normalización, Bélgica). 2003. Eurocódigo 8: diseño de estructuras resistentes a terremotos – Parte 5: cimentaciones, estructuras de contención y aspectos geotécnicos. Bruselas, Bélgica.
- Cervera, LA. 2023. Estabilidad de un talud: factores que influyen. En: EADIC. Disponible en: <https://eadic.com/blog/entrada/estabilidad-de-un-talud-factores-que-influyen/>
- Corominas, J. 1989. Clasificación y reconocimiento de los movimientos de ladera. Zaragoza, España.
- Das, BM. 2013. Fundamentos de ingeniería geotécnica. México.
- Dávila, J. 2011. Diccionario geológico. Callao, Perú, Arth Grouting S.A.C.
- Dismuke, J. 2002. Seismic slope stability and analysis of the Upper San Fernando Dam. Tesis. Davis, California, Estados Unidos de América, The University of California at Davis. Disponible en: <http://sokocalo.engr.ucdavis.edu/~jeremic/ECI284/TermProjects/2002/JDismuke.do>
- Fuentes Velarde, EM. 2019. Diversidad y composición florística de un área de bosque seco de la comunidad campesina de San Gregorio, San Miguel, Cajamarca. Tesis de grado. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca.

- González de Vallejo, L. 2006. Geotecnia. Disponible en: <http://www.jordigonzalezboada.com/geotecnia/descargas.php>
- Hack, R; Alkema, D; Leenders, N; Kruse, G; Luzi, L. 2007. Influence of earthquakes on the stability of slopes.
- Hack, R., Alkema, D., Leenders, N., Kruse, G., & Luzi, L. (2007). Influence of earthquakes on the stability of slopes.
- Hoek, E; Carranza, C; Corkum, B. 2002. El criterio de rotura de Hoek-Brown. Ed. 2002.
- Hussen, H; Tadele, E; Zerihun, N. 2024. Análisis de la estabilidad de taludes de depósitos coluviales a lo largo de la carretera Muketuri–Alem Ketema, norte de Etiopía. Avances de la Ciencia Cuaternaria 17.
- INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil, Perú). 2014. Mapas de peligros, vulnerabilidad y riesgos, plan de usos del suelo ante desastres, proyectos y medidas de mitigación de la ciudad de Bambamarca y centro poblado Llaucán. Cajamarca, Perú.
- Ishikawa, T; Zhu, Y; Él, W. 2023. Análisis de estabilidad de taludes en áreas amplias y estrechas considerando la infiltración y la escorrentía durante precipitaciones intensas. Suelos y Cimientos 17.
- ITASCA (Itasca Consulting Group, Perú). 2021. Itasca. Disponible en: <https://www.itasca.pe/>
- Malsbury, E. 2021. Modelo revela interacciones entre ríos y fallas. California, Estados Unidos de América.
- Melo, C; Sharma, S. 2004. Seismic coefficients for pseudoelastic slope analysis. En: 13th World Conference on Earthquake Engineering.
- Melo, C; Sharma, S. 2004. Seismic coefficients for pseudostatic slope analysis. En: 13th World Conference on Earthquake Engineering.
- MVCS (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Perú). 2018. Reglamento Nacional de Edificaciones: Norma Técnica E.030, diseño sismorresistente. Lima, Perú.

- Núñez, S. 2023. Tipos de precipitaciones. En: Ecología Verde. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-precipitaciones-3086.html>
- Ortiz Vera, O. 2014. Similitud hidráulica de sistemas hidrológicos altoandinos y transferencia de información hidrometeorológica. Tesis. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Peña, IV; Vera, RM; Vásquez, AA; Gálvez, MA. 2023. Evaluación del peligro por inestabilidad de taludes en la ruta PE-3S, Abancay. Revista de Investigación Hatun Yachay Wasi:40–51.
- Qian, F; Deng, Y. 2025. Estabilidad sísmica de taludes considerando propiedades del material y características geométricas. Ingeniería Geológica 350:11.
- Ramírez, P; Alejano, L. 2004. Fundamentos de la ingeniería de taludes. Madrid, España.
- Rodrigo, LR. 2017. Análisis de estabilidad de taludes en la carretera Lajas – Ajipampa. Tesis profesional. Cajamarca, Perú.
- Rodríguez, R. 2016. Método de investigación geológico-geotécnico para el análisis de inestabilidad de laderas por deslizamientos: zona Ronquillo – Corisorgona. Tesis de maestría. Lima, Perú, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 151 p.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). 2020. Mapa climático del Perú. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/servicios/?p=mapa-climatico-del-peru>
- Serrad, J. 1982. Curso aplicado a la cimentación. Madrid, España, Colegio Oficial de Arquitectos.
- Suárez, J. 2007. Deslizamientos: análisis geotécnico. Santander, España.
- Úbeda, JS. 2018. La infiltración del agua en los suelos y componentes artificiales y materia orgánica que se utilizan en ellos para la agricultura. Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático.
- Valiente, R; Sobrecases, S; Díaz, A. 2017. Estabilidad de taludes: conceptos básicos, parámetros de diseño y métodos de cálculo. Revista Civilizate:50–54.

- Varnes, DJ. 1978. Tipos y procesos de movimiento de pendientes. Academia Nacional de Ciencias:11–33.
- Vega, CJ; Velásquez, GD. 2020. Análisis de inestabilidad del talud tramo NIC-7 (km 177–178) Santo Tomás, departamento de Chontales. Revista Científica de FAREM-Estelí:169–179.

ANEXOS

ANEXO A

Tabla obtenida de ITASCA (2021)

ANEXO B

B.1 Planos:

- Plano N°1- Plano de Ubicación
- Plano N°2- Modelo Digital de Elevaciones
- Plano N°3- Plano de Unidades Morfogenéticas
- Plano N°4- Plano Geológico

B.2 Columna Estratigráfica

B.3 Perfil Geológico

Tabla 34: Parámetros de Suelos

PARÁMETROS DE SUELOS. FUENTE: ITASCA (2021)										
COMPONENTE MAYORITARIO	SUCS	CARACTERÍSTICAS	DENSIDAD SECA (Kg/m3)	POROSIDAD	DENSIDAD SATURADA (Kg/m3)	COHESION (Kpa)	TENSION (Kpa)	ÁNGULO DE FRICCIÓN	PESO ESPECÍFICO (KN/m3)	PESO ESPECÍFICO SATURADO (KN/m3)
Grava	GW	Bien gradada, fina a gruesa grava	2000	0.5	2500	0	0	40	19.62	24.53
	GP	Pobremente gradada	2000	0.5	2500	0	0	38	19.62	24.53
	GM	Grava limosa	2100	0.5	2600	0	0	36	20.60	25.51
	GC	Grava arcillosa	2100	0.5	2600	0	0	34	20.60	25.51
		Uniforme	1600	0.5	2100	0	0	34	15.70	20.60
		Arenosa con pocos finos	2100	0.5	2600	0	0	35	20.60	25.51
	GM-CL	Arenosa con limo o arcillas	2100	0.5	2600	1	0	35	20.60	25.51
		Combinación de grava y arena	2000	0.5	2500	3	0	38	19.62	24.53
Arena	SW	Bien gradada gruesa	1600	0.5	2100	0	0	38	15.70	20.60
	SW	Bien gradada fina	1800	0.5	2300	0	0	33	17.66	22.56
	SP	Pobremente gradada	1600	0.5	2100	0	0	36	15.70	20.60
	SM	Arena limosa	1600	0.5	2100	0	0	34	15.70	20.60
	SC	Arena arcillosa	1600	0.5	2100	0	0	32	15.70	20.60
		Uniforme-fina	1600	0.5	2100	0	0	32	15.70	20.60
		Uniforme-gruesa	1600	0.5	2100	0	0	34	15.70	20.60
Limo	ML	Baja plasticidad	1750	0.5	2000	2	0	28	17.17	19.62
	MH	Media a Alta plasticidad	1700	0.5	2200	3	0	25	16.68	21.58
Arcilla	CL	Baja plasticidad	1900	0.5	2400	6	0	24	18.64	23.54
	CL-CH	Mediana plasticidad	1800	0.5	2300	8	0	20	17.66	22.56
	CH	Alta plasticidad	1650	0.5	2150	10	0	17	16.19	21.09
	OL-OH	Limo o arcilla orgánica	1550	0.5	2050	7	0	20	15.21	20.11